GIOVANNI MARCHESINI
della Regia Università di Padova

IL PROBLEMA DELLA SCIENZA
NELLA
STORIA DELLE SCIENZE

PER I LICEI SCIENTIFICI

CARLO SIGNORELLI - EDITORE - MILANO
VIA LATTUADA, 5 - VIA BOTTA, 16

Digitized by Google

PROPRIETÀ LETTERARIA
= CARLO SIGNORELLI – EDITORE – MILANO =
= =

Milano 1927 - Tip. L. di G. PIROLA - Via Bergamo, 50

Digitized by Google

PREFAZIONE

Questo Sommario storico non abbraccia tutte le scienze, ma soltanto quelle indicate dal programma vigente per l'insegnamento della filosofia nei Licei scientifici, cioè la Matematica, l'Astronomia, la Fisica e la Chimica, la Geografia.[1]

Le scienze naturali e biologiche, considerate nel riguardo storico, rientrano nei relativi insegnamenti speciali. Di ciascuna delle scienze nominate io traccio un quadro sufficiente a fissare i capisaldi del suo sviluppo.

Esaminando il corso seguito dal sapere scientifico nella sua storia, si possono notare i tre seguenti principali rispetti: 1° La concezione dell'universo, rinnovatasi con il Naturalismo del Rinascimento; 2° Il problema del metodo nella ricerca della verità, che nella medesima epoca assunse una importanza capitale; 3° Il valore dei fondamenti ideali della scienza, e particolarmente dei concetti con cui la realtà è da noi rappresentata, — oggetto, nell'età nostra, di una laboriosa revisione critica. — Tale è la materia di cui ulteriormente questo volumetto si compone, e che mi studiai di trattare con semplicità e parsimonia, fiducioso di meglio giovare così ai fini di una cultura elementare.

G. MARCHESINI.

1. Un valido aiuto ebbi, in questa parte, da insigni Colleghi, come, per la geografia, dal prof. Arrigo Lorenzi dell'Università di Padova.

Digitized by Google

Digitized by Google

IL PROBLEMA DELLA SCIENZA
NELLA
STORIA DELLE SCIENZE

CAPITOLO PRIMO.

I primi albori della scienza.

§ 1. – L'Oriente e la Grecia. Per ritrovare una concezione scientifica, sia pure ingenua, della natura, e le prime forme di speculazione spoglia di preconcetti mistici, dobbiamo guardare alla Grecia del V secolo avanti Cristo. Quivi fiorì, con la filosofia, specialmente la matematica. Tuttavia è certo che i Greci trassero cognizioni importanti dall'Oriente, e particolarmente dagli *Egiziani* e dai *Babilonesi;* e poichè il sapere fra questi, come in generale fra i popoli antichi d'Oriente, era un monopolio gelosamente custodito delle classi sacerdotali, i Greci ebbero il grande merito di convertirlo in un libero patrimonio comune.

§ 2. – Gli Egiziani. Che la civiltà degli Egiziani, come d'altri popoli preellenici, risalga a un'epoca remotissima, è dimostrato, come dai loro meravigliosi edificî di cui si disseppellirono le ruine, così dai *papiri* [1] che si scopersero, e che offrono importanti documenti della loro cultura.

Il così detto papiro *Rhind* risale a circa 18 secoli prima di Cristo e si fondava su altro ancora più antico. Esso conteneva problemi varî di aritmetica e geometria non privi di valore, e attesta come gli Egiziani conoscessero il calcolo delle frazioni: sapevano pure eseguire equazioni di primo grado.

---

1. Gli Egiziani, e in generale gli antichi, scrivevano su carta di *papiro* (pianta che trovasi sulle rive del Nilo), e ne riponevano i rotoli nelle tombe dei morti.

Digitized by Google

Gli Egiziani coltivarono inoltre l'astronomia, confusa però, come sempre fra i popoli orientali, con l'astrologia (§ 21), che a loro interessava in sommo grado come agricoltori per l'influenza che il cielo e le stagioni avevano sulla vegetazione. Una carta del cielo fu compilata in Egitto 17 secoli prima della nostra êra. Ma delle cognizioni astronomiche di questo popolo diremo a suo luogo più largamente (§ 15).

Le meravigliose costruzioni di cui gli Egiziani, come ripetiamo, si mostrarono capaci, quali le piramidi, gli obelischi, i templi maestosi, e l'abilità da loro spiegata nel distribuire e arginare le acque, provano che doveano pur possedere le relative cognizioni tecniche, da noi oggi dette d'ingegneria.

Coltivarono anche, benchè grossolanamente, la Medicina, fondata sul principio che il corpo fosse pervaso dagli *spiriti vitali*, e conobbero quei processi chimici [1] speciali con cui conservavano i corpi dei loro morti (mummificazione).

La scrittura egiziana consta di *geroglifici*, parola che significa *incisioni sacre*, perché se ne usava per ragioni religiose. Da prima furono disegni di oggetti; in seguito servivano a rappresentare concetti astratti, divenendo *ideografici*, e infine esprimendo il suono della parola o della lettera furono segni *fonetici* e *alfabetici*. Successivamente si semplificarono, ma rimasero indecifrabili fino a che, al principio del secolo XIX, in occasione della spedizione di Napoleone in Egitto, *J. F. Champallion* ebbe, con altri, il vanto di scoprirne il segreto.

§ 3. – I Babilonesi. Esperti nell'astronomia, per ragioni pratiche, furono anche i *Babilonesi* o *Caldei* (come si chiamavano i loro sacerdoti, che li rappresentavano). *Plinio* il vecchio (§ 27), *Polibio* (§ 29), *Tolomeo* (§ 21) riferiscono che essi osservarono eclissi di sole e di luna, di cui constatarono il riprodursi periodico, lo zodiaco e le dodici costellazioni contenutevi, l'aspetto del cielo in ogni notte dell'anno, ecc. In queste loro osservazioni si servivano del *gnomone* (strumento costituito da uno stelo verticale eretto sopra un piano orizzontale). A loro è anche attribuita l'invenzione dell'orologio solare e ad acqua. [2]

---

1. L'origine della parola *Chimica* è variamente interpretata, ma si fece anche derivare dalla oarola egiziana *Keme* o *Cham* che significa *Egitto*. — La chimica degli Egiziani non era però che arte industriale, di cui si servivano a lavorare i metalli e le loro leghe, a tingere il cuoio, il vetro, il cotone, a fabbricare perle e gemme preziose, a preparare farmachi, ecc.

2. Delle cognizioni astronomiche dei Babilonesi si trovarono tracce in tavolette metalliche scoperte nel 1854 a Senkreh, nella tomba di Sardanapalo IV. I segni che vi erano incisi furono decifrati da *R. Lepsius* e *P. C. Botta*.

Digitized by Google

Ai Babilonesi non potevano mancare cognizioni di geometria. Conobbero forse la proporzione sia aritmetica sia geometrica, e certo il calcolo delle frazioni. Usarono il sistema decimale e quello sessagesimale, onde l'unità si divideva in 60 parti, e per es. ½ si rappresentava con la frazione $^{30}/_{60}$. Questa notazione venne adottata anche dai Greci nei loro calcoli matematici e astronomici, e fu conservata fino al secolo XVI, quando s'incominciò a usare soltanto delle frazioni decimali.

Pare anche che i Babilonesi, per i calcoli, si servissero dell'*abaco*, del resto antichissimo fra i popoli dell'Asia centrale e anche in Cina.

I Babilonesi adottarono la scrittura cuneiforme, consistente in intrecci geometrici di cunei, che formavano caratteri ideografici-fonetici. Essa risale, come quella egiziana, a più di 3000 anni a. C.: valeva a raffigurare anche i numeri. Un cuneo verticale, con la punta in basso, rappresentava l'unità semplice; un cuneo orizzontale, con la punta a sinistra, il 10. Gli altri numeri si rappresentavano mediante cunei diversamente aggruppati.

§ 4. – Altri popoli: Etruschi - Indiani - Arabi. Non pare che altri popoli, come i Fenici, gli Assiri, gli Ebrei, gli Iranici possedessero un sapere originale: avrebbero bensì attinto le loro cognizioni alla comune fonte egiziana e babilonese. Ciò sarebbe stato agevolato dai loro rapporti commerciali, specialmente dacchè l'Oriente fu unificato sotto l'Impero persiano, nella seconda metà del secolo VI a. C.

Ai Fenici si attribuisce comunemente l'invenzione dell'alfabeto. Pare però che i Cretesi — i quali, secondo Omero, furono maestri di civiltà ai Greci — prima di loro usassero segni risultanti da altri preesistenti. È certo comunque che i Fenici, per la loro attività commerciale, poterono diffondere il proprio sapere anche fra i varî popoli del Mediterraneo.

Nell'Italia antica, dal X o IX secolo a. C., si estese la civiltà degli Etruschi, ch'era conforme a quella dell'Oriente donde era emigrata. Essi studiarono gli astri e i fenomeni atmosferici, e compilarono calendarî meteorologici, pur adottando significati misteriosi. Le loro mirabili costruzioni di vòlte, le colmate per il prosciugamento delle paludi, i mulini a braccia, ecc. dimostrano che possedevano cognizioni di meccanica. Analogamente la loro attività industriale attesta cognizioni di chimica. Riconobbero pure la virtù curativa di certe piante, dalle quali estrassero farmachi. Infine per l'arte degli aruspici che nelle viscere degli ani-

Digitized by Google

mali scorgevano i segni rivelatori del futuro, gli Etruschi acquistarono qualche nozione di anatomia.

Gli Indiani spiegarono nella matematica un'attività loro propria, dimostrando per il calcolo un'attitudine singolare. Infatti fra essi la scienza dei numeri, il simbolismo numerico e l'algebra ebbero uno sviluppo notevolmente superiore a quello che si manifestò nella Grecia. Intorno però alla storia della matematica nell'India non abbiamo molti elementi; né ci risulta quanto sia stato in questo campo l'influsso reciproco dei due popoli, indiano e greco. È probabile che *Diofanto* (§§ 4, 7, 21) apprendesse i primi rudimenti dell'algebra dagli Indiani. Da questi si conviene siano derivati il sistema numerale oggi in uso, [1] la prova del 9, il segno dello zero e le regole algebriche per operare su questo. Inventato lo zero e il valore di posizione, il calcolo numerico era facilitato.

Questo patrimonio indiano ci venne trasmesso dagli Arabi i quali, a cominciare dal 600 circa della nostra êra, esercitarono per più secoli sulla cultura scientifica e filosofica occidentale un largo quanto inatteso influsso.

La letteratura matematica degli Arabi ha il suo inizio con il *Manuale di algebra* e altri scritti di *Al-Khowarizmi*, dal quale ebbe origine la parola algebra [2] e l'altra *algorismo*. Ulteriormente la parola prese diverso significato, e nel medio evo *liber Algorismi* volle dire *libro di Aritmetica (Algorismus)*. Perdutasi poi la tradizione sull'origine della parola, questa si trasformò, come se avesse origine greca, in *Algorithmus*, che serve a indicare un regolare schema aritmetico.

Con l'algebra gli Arabi coltivarono particolarmente, a servizio dell'astronomia, la trigonometria, la quale toccò l'apogeo col trattato di *Nasir-ed-din* (nomignolo che significa « difensore della religione »). - Ma veniamo alla Grecia.

---

1. È quello che ha per numero fondamentale il 10 (prescelto perchè 10 sono le dita delle mani, che servivano di aiuto nei calcoli pratici), per numero iniziale lo zero, per ausiliari i dieci caratteri oggi usati dovunque. Il concetto fondamentale a cui s'informa è che ogni cifra assume il proprio valore dal posto che occupa. Perciò la nostra notazione numerica anzichè *araba* si dovrebbe chiamare *indiana*, perchè gli Arabi l'appresero dagli Indiani.

2. *Al gebr* (da *jabara*) in lingua araba significa *aggiustare un membro rotto*, una frattura. Nelle lingue spagnuola e portoghese *algebrista* vuol dire « *chirurgo* che aggiusta arti slogati ». Al-Khowarizim intendeva designare, con quella parola, l'operazione che si deve eseguire sui termini di un'equazione affinchè contenga termini positivi tanto nel primo quanto nel secondo membro.

Digitized by Google

CAPITOLO II.

La Matematica.

§ 5. – La matematica preeuclidea. I Greci attinsero molta parte della loro cultura dagli Egiziani; ma ciò non scema quell'originalità ch'essi rivelarono non pure nelle loro particolari ricerche, ma anche nel rielaborare le cognizioni apprese da altri. Della matematica primitiva presso i Greci poco sappiamo, e ci limiteremo quindi a brevi cenni.

Certo *Talete* (sec. VII a. C.) primo filosofo della scuola detta *ionica* [1] (intorno alla quale non abbiamo che notizie frammentarie), conosceva alcuni teoremi semplici di geometria, come quello che ricorda Dante nel c. XIII (v. 101-2) del Paradiso:

> O se del mezzo cerchio far si puote
> Triangol sì, che un retto non avrebbe.

È il teorema: « l'angolo inscritto in un semicerchio è retto ».

A Talete si attribuiscono inoltre i teoremi seguenti: Il cerchio è bisecato da un suo diametro. — Se due rette si tagliano, gli angoli opposti al vertice sono eguali. — Gli angoli alla base di un triangolo isoscele sono eguali. — Un triangolo è determinato quando sono dati un lato e i due angoli adiacenti.

Ben più alta rinomanza, nello stesso campo della geometria, spetta a *Pitagora* di Samo (VI sec.), quantunque la sua figura sia ravvolta nella leggenda. Egli fondò la « Scuola italica », associazione la quale, oltre a seguire uno scopo religioso e politico, avea una missione scientifica, cioè quella di diffondere e trasmettere ai posteri le dottrine pitagoriche. Tale propaganda dovea avere carattere disinteressato, secondo la massima: « Una figura e un passo, non una figura e tre oboli »; ossia « la geometria per la geometria, e non per l'utilità materiale che se ne possa ricavare ».

Con Pitagora s'inizia l'aritmetica, quale scienza dei numeri in astratto; ed egli attribuiva al numero tale valore da ritenerlo l'essenza stessa della realtà: *le cose sono numeri*. Ciò ha un'importanza singolare per questo che, mentre la Scuola ionica concepiva — come vedremo più oltre (§ 27) — il principio dell'universo

1. Questa scuola nasceva dalle colonie dell'Asia Minore costituita da Greci che si dissero di stirpe ionica.

Digitized by Google

come materiale, Pitagora lo riponeva in ciò che la struttura stessa delle cose ha di più intimo, o nella sua prima essenza. Questa era per lui il numero, in quanto dobbiamo ad esso la descrizione delle forme e delle loro relazioni. Così il numero acquistava su queste un potere causativo, divenendo infine la base della creazione.

Il famoso *quadrivio* (aritmetica, geometria, musica, astronomia) che dominò nelle scuole medioevali, si fa risalire a Pitagora. Egli formulò pure importanti nozioni circa il punto, lo spazio, gli angoli rettilinei, il triangolo rettangolo, la teoria delle proporzioni, i poliedri regolari. Per tutto ciò fu ritenuto il più grande matematico dell'antichità. È poi noto il teorema che porta il suo nome: « Il quadrato dell'ipotenusa di un triangolo rettangolo è equivalente alla somma dei quadrati dei due cateti ». La dimostrazione però sembra appartenere a Euclide.

Al progresso della matematica contribuì, per la stessa ispirazione di Pitagora, *Ippocrate* di Chio (V sec.). È considerato come uno dei più grandi geometri antichi, e il suo nome si collega a due problemi classici della geometria: la *quadratura del cerchio* e la *duplicazione del cubo.*[1] Si aggiunga *Archita* Tarantino, che studiò particolarmente questo secondo problema (intorno al 400 a. C.).

Non pare che *Platone* abbia fatto nella matematica scoperte importanti. Gli venne attribuito, pare erroneamente, il metodo di ricerca detto *analitico*, che *Teone* di Smirne definiva nei seguenti termini: « Considerare la cosa cercata come se fosse data, e procedere di conseguenza in conseguenza fino a che si riconosca vero ciò che si cercava ». Comunque il genio di Platone, tanto fecondo nella filosofia, era così poderoso, diritto e multiforme, che non poteva non concorrere anche a dare precisione al metodo e alle definizioni della matematica. Perciò egli venne esaltato come *maestro dei matematici*. Quanto poi egli avesse in onore le scienze esatte, appare anche dal motto che si leggeva all'ingresso della sua scuola: « Nessuno ignaro della geometria entri sotto il mio tetto ». — Geometrizza sempre anche Dio, disse Platone.

---

1. Il problema della quadratura del circolo fu ripreso poco dopo da *Antifonte*. Potendosi, egli osservava, iscrivere in un cerchio una serie di poligoni ciascuno dei quali differisca dal cerchio meno del precedente, si deve giungere a un poligono il cui perimetro coincida con la circonferenza. Potendosi poi quadrare qualsiasi poligono, si dovrà trovare un quadrato equivalente all'ultimo poligono iscritto e quindi al cerchio. — Il problema della duplicazione del cubo si chiama anche *problema di Delo*. Consiste nel trovare il lato di un cubo in volume doppio di un cubo dato. Si chiamò così perchè essendo gli abitanti di Delo afflitti da una pestilenza, affine di liberarsene consultarono l'oracolo, il quale rispose che doveano raddoppiare l'altare formato di un cubo d'oro.
Questi due problemi, con quello della trisezione dell'angolo, furono tra i più studiati dai Greci, dagli Arabi, dai matematici della Rinascenza.

Digitized by Google

Originale fu invece *Eudosso* (Cnido; IV sec.) che dovremo pur ricordare trattando dell'astronomia (§ 17). A lui si ascrive la teoria generale delle grandezze che trovasi nel libro V degli *Elementi* di Euclide (§ 6).

§ 6. – Il periodo aureo. Il periodo aureo della geometria greca, detto anche greco-alessandrino (perchè il centro della cultura scientifica passò da Atene ad Alessandria), è rappresentato principalmente da *Euclide*, *Archimede*, *Apollonio*. Aristotele, il grande maestro d'ogni sapere, avea concorso a prepararlo con il sistema di logica deduttiva che chiamò *Organon* (essendo il metodo l'organo, lo *strumento* essenziale, del ragionare).

Della vita di *Euclide*, nato ad Alessandria, poco sappiamo. La sua opera si svolse specialmente durante il regno del primo Tolomeo (dal 306 al 283). Caratteristici sono i due aneddoti seguenti: Avendogli il re domandato se non vi fosse una via più breve degli *Elementi*, egli rispose: « In geometria non esistono cammini speciali fatti per i re ». — Un giovane che essendosi accinto allo studio della geometria avea appreso le prime cinque proposizioni degli *Elementi*, chiese che cosa avrebbe guadagnato a imparare tali cose. Euclide, chiamato il suo schiavo, gli disse: « Dà a costui tre danari, poichè deve guadagnare per quello che apprende ».

Gli *Elementi* — opera classica, che sfidò i secoli — sono divisi in tredici libri. Vi è coordinata la materia lasciata dai geometri precedenti, e il metodo seguìto, espositivo e sistematico, è singolarmente rigoroso, come è richiesto sia dalla natura propria della scienza geometrica, sia dallo scopo didattico a cui l'opera era destinata.

Agli *Elementi* successero i *Data*, il cui intento era di avviare alla soluzione di nuovi problemi coloro che già avessero studiati gli *Elementi*. Per Euclide è una cosa *data* quella che è determinata dalle condizioni assegnate. È data o *in ispecie*, come un poligono simile a un altro; o *in posizione*, ad es. il punto comune a due date rette; o *in grandezza*, come un cerchio di dato raggio.

Euclide trattò anche di ottica (§ 29), di geometria sferica, degli intervalli musicali, delle divisioni delle figure piane in parti aventi fra loro un determinato rapporto, ecc. Alcune altre opere di lui andarono perdute, come il trattato in tre libri sui *Porismi* (in cui erano raccolte varie proposizioni utili a risolvere i problemi

Digitized by Google

più generali e difficili) e i trattati relativi ai *Sofismi*, alle sezioni coniche, ecc.

È notevole che l'autore degli *Elementi*, come del resto tutti i Geometri precedenti, non si sia occupato delle misure.

Principe dei Matematici fu proclamato dagli antichi *Archimede* siracusano, pure del secolo III. La ricerca nella matematica fu la sua ambizione suprema, un fine, a così dire, assoluto. Quando poi la sua patria fu stretta d'assedio dall'esercito romano condotto da Marcello, nella seconda guerra punica, egli rivolse il suo acuto ingegno a concepire e apprestare armi di difesa e di offesa, e infatti riuscì a mantenere la resistenza dei Siracusani per ben tre anni. Erano macchine che, al loro primo apparire, destavano il terrore nei soldati nemici.

La città finalmente fu invasa di sorpresa, e durante il saccheggio Archimede venne ucciso per la brutalità di un soldato. Narra infatti Tito Livio che Archimede, durante quelle ore tristi, ignaro della presa della città, era assorto nell'esaminare alcune figure da lui tracciate sulla sabbia, nella pubblica via. Essendosi a lui avvicinato un soldato gli gridò: « Non danneggiare i miei cerchi ». Il soldato, credendosi insultato, lo uccise. Marcello che molto ammirava l'insigne geometra, e che anzi avea ordinato ne fosse risparmiata la vita, deplorò assai la sua uccisione; e ad onorarne la memoria gli eresse una tomba sulla quale fu incisa una sfera inscritta in un cilindro, secondo il desiderio che pare avesse già manifestato lo stesso Archimede.

Importanti aggiunte fece Archimede agli *Elementi* di Euclide, relativamente alla sfera e al cilindro (onde si comprende la suddetta incisione); e i risultati a cui egli giunse circa la misura del cerchio figurano come definitivi. Notevoli sono pure le sue teorie intorno all'equilibrio dei piani, alla quadratura della parabola, alle curve spirali, ai concoidi e agli sferoidi, alla leva e alla statica dei corpi [1].

---

1. È noto l'aneddoto onde si attribuisce ad Archimede il famoso motto: *Da mihi ubi consistam et terram movebo.*

Si narra poi che il principio che va col suo nome, relativo ai solidi immersi in un liquido, e ch'è base dell'idrostatica, sia stato da lui scoperto mentre era nel bagno; e tanto egli si mostrò esaltato di questa scoperta che corse a casa, nudo e bagnato com'era, gridando « *eureca, eureca* ». Avea fatto oggetto di studio i corpi galleggianti per poter rispondere all'invito fattogli dal re Ierone, di esaminare se in una corona che doveva essere di puro oro, vi fosse anche dell'argento.

Nello scritto *Arenaria* Archimede si propone di stabilire il numero di granelli di arena che contiene una massa eguale al cosmo, — il cui diametro egli assumeva come minore di 10.000.000.000 stadi.

Digitized by Google

Il nome di *Apollonio* di Perga (II sec. a. C.) è associato alle sezioni del cono. Egli vi dedicava un'opera in otto libri, dei quali sette ci sono pervenuti; per ciò fu stimato un grande geometra. Le proposizioni fondamentali metriche in essa contenute si dicono tuttora « teoremi di Apollonio », e alle *Coniche* di Apollonio si ricorre utilmente anche oggi. Da lui infine prese il nome anche il problema della costruzione di un cerchio che ne tocchi tre altri situati nel medesimo piano.

§ 7. – Altri matematici posteriori. Di *Eratostene*, di Cirene (350-320 a. C.), poco ci resta, ma sappiamo, fra l'altro (§§ 20, 34), ch'egli fece studi importanti anche nella matematica, per es. sulla duplicazione del cubo. Inoltre ci lasciò il così detto *staccio* o *crivello* che va sotto il suo nome, per costruire una tavola di numeri primi.

Molti altri studiosi di matematica meriterebbero d'essere qui ricordati, ma la brevità impostaci da questo sguardo sommario c'impone di sorvolare. Ricorderemo però *Nicomede* (II sec.) che deve la sua celebrità all'invenzione della curva detta *concoide*, usata da Newton anche per la costruzione geometrica di alcune equazioni di 3° e 4° grado. — Così merita menzione *Ipparco* (Nicea; II sec. a. C.), il padre dell'astronomia matematica greca, che dovremo quindi ricordare anche più innanzi (§ 18); e con lui *Erone* di Alessandria (vissuto sul principio dell'êra volgare) che fu anche un valente fisico (§ 20, 33 A), a lui dovendosi, fra le altre invenzioni, il *traguardo*, onde si determina l'area di un triangolo in funzione dei lati (§ 20).

Un altro matematico insigne fu *Diofanto* di Alessandria (§ 4), vissuto tra il 2° e il 1° secolo, considerato come creatore dell'algebra, È autore di un'opera di *Cose aritmetiche* in 13 libri, dei quali sei sono a noi noti. Contengono problemi varî di aritmetica, trattati con un'ingegnosità che riuscì molto suggestiva nelle ricerche ulteriori. Riguardano particolarmente l'analisi indeterminata; e vi è introdotta l'idea di un'equazione algebrica espressa con simboli algebrici.

§ 8. – Il periodo della decadenza. Dopo Diofanto l'originalità greca nella speculazione matematica sembra spegnersi, per lasciar luogo ai *Commenti*, i quali segnano un ben lungo periodo di torpore e di decadenza. Mentre però il pensiero matematico dei Greci rima-

Digitized by Google

neva a testimoniare l'altezza geniale da essi raggiunta, non perdeva il proprio potere fecondatore, onde parecchi secoli dopo ispirava nuovi studi e nuove scoperte.

Non mancano, a dir vero, fra le tenebre secolari, vivi sprazzi di luce, e quanto alla matematica ricorderemo *Pappo*, vissuto circa il 300 d. C., ultimo cospicuo geometra della scuola di Alessandria, commentatore degli *Elementi* di Euclide, e dell'*Almagesto* di Tolomeo (§ 21). A lui dobbiamo parecchie informazioni circa opere di matematica a lui anteriori che non sono a noi pervenute. Dagli scritti superstiti di lui sappiamo ch'egli determinò il fuoco della parabola.

Alla prima metà del secondo secolo appartengono i matematici *Nicomaco* di Gerasa e *Teone* di Smirne, già ricordato (§ 5), cultore anche della scienza astronomica (§ 21).

§ 9. – I Romani. I Romani che tanto hanno influito sulla civiltà mondiale con la loro cultura e genialità letteraria e giuridica, come furono grandi nella potenza delle armi e nelle virtù militari, non erano, né potevano essere altrettanto inclini alla speculazione. Dotati di senso pratico, emersero piuttosto nell'agronomia; e oltre a *Virgilio*, basti citare *Catone*, *Varrone*, *Columella* e *Palladio Rutilio*. Quanto alla geometria, essi si attennero a quella empirica degli antichi Etruschi, dei quali imitarono pure il simbolismo numerico. Nei calcoli usarono l'abaco; e come tale serviva più spesso una tavoletta coperta di polvere, e poi divisa in colonne mediante rette. Nelle colonne si ponevano tante pietruzze (*calculi*, da cui la parola *calcolo* quante occorrevano per indicare le unità del numero da rappresentare. Tavole varie servivano pure a facilitare le operazioni aritmetiche. Nelle scuole si dava la maggiore importanza al calcolo sulle frazioni.[1]

Notevole fu nel secolo V l'opera di *Severino Boezio*, morto decapitato il 524. Oltre al *De Consolatione philosophiae*, che scrisse in carcere, egli ci lasciò libri di aritmetica e geometria che trattano per es. della misura delle figure piane, a servizio dell'agri-

1. Le leggi sull'eredità presso i Romani sollevavano numerose questioni di calcolo. Citerò la seguente: Un tale morendo e lasciando la moglie prossima a diventar madre, volle che il suo patrimonio fosse diviso così: Se fosse nato un bambino, questo doveva ricevere i $^2/_3$ dell'eredità, e la moglie $^1/_3$; se fosse nata una bambina, questa doveva averne un $^1/_3$, e la moglie $^2/_3$. Essendo nati, contro la previsione, due gemelli, maschio e femmina, per decidere come l'eredità dovesse dividersi si ricorse al celebre giurista romano Salviano Giuliano. Questi sentenziava che il patrimonio si doveva ripartire in 7 parti eguali, assegnandone 4 al figlio, 2 alla moglie, e una alla figlia.

Digitized by Google

mensura. Questa opera, che era essenzialmente una compilazione, rimase fino al secolo XII, in occidente, la fonte unica delle conoscenze matematiche. — Boezio migliorò l'abaco sostituendo alle pietruzze piccoli coni che chiamò *apici* (derivati dai segni indiani), sui quali erano trascritti i segni numerali dall'1 al 9. [1]

§ 10. – L'enciclopedismo. Il risveglio della cultura in generale, e della cultura matematica in particolare (caduta nel medio evo in tanto discredito che *matematico* volea dire astrologo o indovino) avvenne tardi, e vi cooperarono gli Arabi (§ 4), che trapiantarono in Occidente le loro conoscenze matematiche. Intanto nel medio evo prevalgono le *Enciclopedie* scolastiche. Un'Enciclopedia, col titolo *Origini*, scrisse per es. *Isidoro* vescovo di Siviglia (VII sec.), informandosi alle Enciclopedie di *Marziano Capella* e *Cassiodoro*. Trattandosi ivi anche del *quadrivium*, vi avea parte notevole l'aritmetica, in esso compresa. — Ricordiamo pure *Beda il venerabile*, l'uomo più dotto della sua epoca (VII-VIII sec.); *Alcuino* (sec. VIII), autore d'una raccolta di *Problemi* con carattere didattico; *Gerberto* (sec. X), uomo di cultura allora ritenuta vastissima e maestro valente. Egli potè giovarsi di una copia del Manuale di Boezio; e il suo influsso perdurò nei secoli XI e XII. In quest'ultimo secolo si segnalò *Abelardo*, a cui si deve la prima traduzione in latino degli *Elementi* di Euclide, e che ci lasciò pure un sagace commento della 32ª proposizione del L. I dell'opera euclidea, con una sua propria teoria circa i poligoni stellati. È questo il primo scritto di geometria dell'evo di mezzo, in cui riappaia il rigore matematico.

§ 11. – La matematica nei secoli XIII e XIV. A *Leonardo Fibonacci* di Pisa nel secolo XIII dobbiamo la prima rinascenza della matematica in terra italiana. Era un mercante, e viaggiando avvertì che il conteggio indiano era più perfetto di quello usato in Europa. Compose in latino il *Liber abaci*, da cui risulta che la parola *Abaco* aveva perduto il senso primitivo di strumento per il calcolo numerico, significando ora *Aritmetica* in generale. Questo libro per parecchi secoli fece testo. Conteneva i metodi allora più perfetti per il calcolo dei numeri intieri e delle frazioni (compresi i *conti fatti* a uso commer-

1. Boezio chiamò l'abaco *mensa Pythagorea*. Copisti inesperti non avendo compreso il passo, scambiarono le tavole dell'abaco con quelle della moltiplicazione. Ne derivò il nome di *tavola pitagorica* attribuito tuttora impropriamente alla tavola della moltiplicazione.

Digitized by Google

ciale), oltre a parecchie altre teorie, l'algebra compresa. Il medesimo Leonardo Fibonacci scrisse pure un'opera intitolata *Practica geometrica*, ispirata a Euclide.

Fu suo contemporaneo in Germania il monaco domenicano *Giordano Nemorario*, autore di varie opere importanti, specialmente di geometria.

Nel secolo XIV salì in alta fama *Tommaso Bradwardin*, arcivescovo di Cantorbery, autore anche d'una *Geometria Speculativa*; e accanto a lui si deve collocare *Nicola Oresma*, che nel suo *Algorithmus proportionum* espose le prime idee del calcolo delle potenze con esponenti frazionari.

§ 12. – La Rinascenza. Il secolo XV segna in Europa l'inizio di un'êra nuova anche per la matematica. Lo studio dei classici richiamò in onore anche le opere di geometria dei Greci, assieme all'algebra arabo-indiana. Né devesi dimenticare che alla diffusione di ogni ramo del sapere dava in quest'epoca un potente impulso l'invenzione della stampa con caratteri mobili.

Nicola Cusano (§ 47) fa studi importanti sul cerchio. *Giovanni Müller* noto come *Regiomontano* (ossia della città di Koenigsberg, *monte regio*), si dedicò appassionatamente allo studio dei matematici greci del periodo aureo, concorrendo non poco al progresso della geometria. La sua opera sui triangoli si considera come il primo trattato di Trigonometria che porti il nome di un europeo.

Tralasciando altri che pur meriterebbero d'essere ricordati, segnaleremo *Leonardo da Vinci* (1452-1519), il quale nella matematica, a cui si applicò intensamente, ravvisava il principio della certezza scientifica. Egli, di cui pur vedremo l'altra importanza in altri campi, trattò particolarmente delle teorie geometriche in applicazione al disegno.

Al progresso della matematica in questo secolo contribuì pur molto, con più opere, Fra Luca, o *Luca Pacioli*. Di esse la *Summa* è importante anche perchè vi si congiunge l'algebra degli Indiani alla geometria dei Greci, con grande vantaggio della matematica.[1] È compilata alla meglio, sul tipo delle Enciclopedie

1. Quest'opera prelude e forse preparò il periodo aureo dell'algebra italiana; chè cade appunto nel XVI secolo quell'opera memorabile in cui nella plaga avente per punti estremi Bologna, Milano e Venezia, vennero gettate solide basi alla teoria dei numeri immaginari, ed alla risoluzione delle equazioni algebriche letterali: così tale capitolo della matematica, con un balzo meraviglioso, toccava l'ultima Tule che le è dato raggiungere. (Gino Loria).

Digitized by Google

medioevali; si limita alla matematica, ed è scritta in un italiano alquanto ibrido. Annibal Caro la paragonò a « cineracci d'orefici », perchè « v'è sepolto l'oro, come fra le ceneri degli orefici si rinvengono particelle dello stesso metallo ».

Nicolò Tartaglia, nato a Brescia nel 1506 (da un « cavallaro »), è autore, oltrechè di una grande Enciclodedia matematica che porta il titolo *General trattato di numeri e misure*, anche di un volumetto di *Quesiti et inventioni diverse*, il quale contiene, fra l'altro, la formula risolutiva delle equazioni cubiche, falsamente attribuita a Cardano.

La tecnica algebrica moderna deve molto infine al francese *Francesco Viète*, vulgo *Vieta*.

Nel secolo XVII la *Geometria* di Cartesio (La Haye; 1596-1650) si può considerare come l'opera più cospicua, dopo quelle greche, che annoveri la storia della matematica di questa epoca. Per essa, venendo l'algebra a sussidio della geometria, si delineava la *Geometria analitica*. [1]

In Francia emerse pure, per un teorema fondamentale sulle sezioni del cono, *Biagio Pascal*, che dettò anche regole di dubbio valore su le definizioni, gli assiomi e le dimostrazioni.

§ 13. – Galileo, Newton, Leibniz, Nepero.

Dell'opera scientifica, come della vita di *Galileo*, sarà detto più oltre. Qui intanto rileviamo che essa s'informava a principî matematici. « Non conviene egli confessare — così scriveva Galileo — la virtù della geometria essere il più potente strumento d'ogni altro per acuir l'ingegno e disporlo al perfettamente discorrere e specolare? e che con gran ragione voleva Platone i suoi scolari prima ben fondati sulle matematiche? ». Conformemente a queste vedute, nota il Loria, egli non isdegnò meditare sull'antica teoria delle proporzioni quale si legge nel V libro degli *Elementi* di Euclide; da ciò egli fu indotto ad escogitare concetti così savi ed originali sul modo di servirsi rigorosamente del concetto d'infinito, che essi, nelle mani di un suo illustre discepolo —

---

1. Servendosi dei concetti fondamentali della geometria cartesiana, qualunque curva o superficie descritta con una determinata legge viene rappresentata da un'equazione che compendia tutti gli aspetti che quella figura può assumere e tutte le prerogative di cui è dotata. Tale metodica sostituzione di una figura con un'equazione rese possibile l'investigazione di cubi geometrici talmente complicati e strani, quali nessuna mano di artista, per quanto abile, sarebbe capace di delineare, e nessuna fantasia di poeta, per quanto possente, sarebbe giunta a concepire. Perciò, con la creazione della geometria analitica venne mosso un nuovo passo verso il distacco della matematica dal mondo reale, nuovo sintomo di una tendenza che caratterizza tutta l'evoluzione storica di questa scienza » (G. Loria.)

Digitized by Google

Bonaventura Cavalieri — produssero la così detta *Geometria degli indivisibili*, la quale può dirsi ponte di passaggio fra le idee di Archimede e quelle di Newton; e se si riflette al numero ed al valore dei giovani inglesi che si recavano a Padova ad ascoltare le lezioni di Galileo, si vedrà che il nostro sommo connazionale non può dirsi estraneo alla creazione del calcolo infinitesimale, meravigliosamente sbocciato poco dopo al di là della Manica.

Newton (§ 25) e *Leibniz* si contesero infatti la palma su questo terreno, ossia nel rendere i concetti di infinitamente grande e infinitamente piccolo suscettibili di soddisfacente trattazione matematica. Infatti il Leibniz (Lipsia, 1646-1716) propose un metodo di ricerca filosofica, modellato sui procedimenti algebrici, che lo fanno oggi considerare come uno dei precursori della logica matematica. Ma l'esame degli scritti matematici di Leibniz sono riserbati allo storico delle matematiche superiori, il quale così è condotto ad adunare tutti i documenti relativi al processo causato dalla creazione del calcolo infinitesimale, in cui i contendenti erano, non due uomini, ma due nazioni, allora divise dall'antagonismo per gravi interessi. A noi — soggiunge il Loria — basti notare come l'esame accurato ed imparziale di essi guidi a concludere che i nuovi calcoli non possono dichiararsi opera esclusiva di Leibniz o di Newton. È ben vero essere di essi gloria imperitura ed altissima l'aver per primi riconosciuto come le infinitiformi questioni offerte dalla natura si possano trattare matematicamente quando si sappiano eseguire due sole operazioni analitiche (la differenziazione e l'integrazione), l'avere inoltre posta in luce la relazione che le unisce e finalmente insegnato ad eseguirle, almeno nei casi più ovvii. Ma sarebbe ingiustizia negare che l'uno e l'altro completarono, con criteri propri, un imponente edificio, le cui fondamenta erano state poste, quasi venti secoli innanzi, da Eudosio (§ 5) ed Archimede; edificio che era stato lentamente innalzato per opera dei discepoli di Galileo, B. Cavalieri ed Evangelista Torricelli, di Keplero e Wallis, di Fermat e Pascal, e di altri pensatori di minor grido. Quanto vi aggiunsero Newton e Leibniz è di stile talmente differente, che, senza escludere qualche possibile inavvertita influenza dell'uno sull'altro, l'assoluta proprietà di ciascuno su quanto lasciò scritto non può venire ragionevolmente revocata in dubbio.

Non dobbiamo dimenticare infine *Giovanni Napier*, vulgo *Nepero* (Edimburgo, 1550-1617), al quale dobbiamo il concetto di *logaritmo* e l'invenzione di un metodo per costruire le tavole re-

Digitized by Google

lative. Il medesimo concepì pure un apparato a bastoncini che serve a facilitare il calcolo, e si considera come il capo-stipite delle macchine calcolatrici posteriori.

§ 14. – L'ULTIMO PERIODO DELLA MATEMATICA. Il secolo XVIII s'illumina di due grandi astri della matematica: *Leonardo Eulero* (Basilea), e *Giuseppe Luigi Lagrange* (Torino), che appartenne all'Accademia di Berlino. Il nome del primo si lega a molte formole e a teoremi varî della matematica pura e applicata; il secondo trattò questioni superiori di analisi matematica.

Non ci diffonderemo sulla matematica posteriore al secolo XVIII, la quale richiederebbe una trattazione a parte, e riuscirebbe, come ripetiamo, di carattere superiore. I suoi progressi per sé, e nelle applicazioni che ne trassero altre scienze (per es. la fisica, la chimica, la statistica, ecc.) sono notevolissimi; ed è poi assai importante l'indirizzo critico che essa ha assunto a proposito per es. della geometria non euclidea,[1] e con le dottrine filosofiche di cui tratteremo più oltre (§ 57).

La Geometria euclidea sussiste pur sempre incrollabile come quella che corrisponde alla comune esperienza; ma si osserva che nulla vieta logicamente di costruire altre geometrie differenti da quella classica (§ 57). [2]

---

1. La disputa fu sollevata dal principio XI d'Euclide: *Per un punto fuori di una retta si può condurre una sola parallela ad essa.* Poiché questo non parve un vero e proprio assioma, e la dimostrazione tante volte tentata della sua verità non riuscì, si cominciò a dubitare se non si potrebbe anche respingerlo. Il dubbio si poteva superare cercando di costruire una geometria indipendente dal principio della parallela unica. Questa geometria, non euclidea, fu costruita dal tedesco Carlo Federico Gauss, dall'ungherese Giovanni Bolyaï, e dal russo N. Lobacefsky.

2. Il matematico *Gauss* considerava la geometria come un edifizio logico, soltanto ove si conceda la teoria delle parallele come assioma; ma egli s'era persuaso che quel teorema non si potesse dimostrare, quantunque si sappia per esperienza che è approssimativamente vero. — Federigo *Enriques* osserva che questa opinione attribuita da Sartorius al Gauss nella prima parte non sarebbe accettabile, perchè a nessuno dei postulati geometrici può essere riconosciuto il carattere di assioma logico; e ciascuna delle definizioni degli enti fondamentali della geometria (viziosa nel suo aspetto logico) racchiude in se stessa una supposizione reale. La proprietà fondamentale, soggiunge l'Enriques, della linea retta involge appunto l'ipotesi di una certa simmetria fenomenica, cioè un insieme di concordanze, senza le quali non sarebbe possibile di cogliere tanti ordini diversi di fatti, con una *unica* rappresentazione geometrica. Di questa ipotesi possiamo dire che essa, per ora, è confermata da tutte le nostre esperienze, e nulla di più. Un apprezzamento quantitativo del grado di rigore ad essa spettante non sembra facile a darsi, sebbene sia certo che non erriamo affermando che la sua esattezza relativa è enormemente grande. — Restano tuttavia possibili infiniti sistemi geometrici diversi, non soltanto logicamente ma anche fisicamente.

Digitized by Google

CAPITOLO III.

L'Astronomia.

§ 15. – L'ASTRONOMIA DEI POPOLI DELL'ORIENTE CLASSICO. La culla dell'astronomia deve ricercarsi presso gli antichi popoli civili dell'oriente classico; i quali, però, come tutti i popoli antichi, anch'essi confusero la scienza col mito.

Particolarmente i Babilonesi e gli Egiziani (§§ 1, 3), abitando regioni piane ed aperte, sotto un cielo limpido e sereno, da tempo remotissimo osservarono, come sappiamo, i movimenti degli astri.

Nell'Egitto settentrionale, dopo lunga osservazione delle ombre proiettate dal gnomone (§ 3), essendosi determinato il moto annuo del sole tra i due tropici, sino dall'anno 4241 a. C. era stato introdotto il calendario di 365 giorni. Gli *Accadi*, antichissimi abitatori della parte settentrionale della Mesopotamia, conobbero ben presto i pianeti (Mercurio, Venere, Giove, e Saturno), compresi il Sole e la Luna ritenuti tali, la fascia di costellazioni entro la quale si muovono (zodiaco), le fasi lunari.

La durata dell'anno, computata da prima in 360 giorni lunari, diede origine alla divisione del circolo in 360 gradi, alla divisione dell'anno in 12 mesi, e del giorno in 12 ore. La divisione del giorno in 24 ore fu poi fatta invece dai *Persiani* (Zoroastro). I sette giorni della settimana corrispondono al numero dei pianeti conosciuti; il settimo era giorno sacro e di riposo. Se ne vedeva un rapporto con i sette colori dell'iride (arcobaleno).

Della Terra, della sua forma e dei suoi rapporti col cielo, le popolazioni civili della Mesopotamia ebbero probabilmente concetti diversi, confondendo tutte la realtà con l'illusione, e mescolando elementi fantastici con fatti positivi. Dai *Semiti* la Terra fu concepita come rettangolare, in rapporto ai quattro punti cardinali; i *Sumiri*, che precedettero i Semiti e si fusero poi con questi, la concepirono ad anelli concentrici che si precisavano in numero di 7. La s'immaginò poi come una barca rovesciata galleggiante sull'oceano o acque inferiori. La volta del cielo, rotonda, metallica e doppia, serviva a sostenere a guisa d'immenso serbatoio le acque superiori. Oltre la volta del cielo stava l' « interno » del medesimo, sede degli dei. Sotto il dorso della Terra curva, in una grande cavità, stava il soggiorno dei morti, come un castello

Digitized by Google

cerchiato da sette mura concentriche; e al di sotto della dimora dei morti erano le acque del grande abisso.

Gli astri aveano natura divina *(animismo)*, e influivano sul destino degli uomini, onde l'osservazione del cielo acquistava un grande interesse pratico.

I sacerdoti egiziani, che nelle loro dottrine segrete insegnavano agli iniziati ad adorare il Sole come dio unico, consideravano la Terra come rettangolare, con il centro a mezzodì di Menfi; di notte il Sole si nascondeva dietro le montagne. Nel tempio di Abido la volta rappresentante il cielo, sostenuta da quattro colonne ai vertici del rettangolo, era dipinta in azzurro e cosparsa di stelle a cinque punte. Simboli di forze naturali e di astri decoravano le pareti. Il tempio dava così l'immagine dell'universo.

§ 16. – L'astronomia primitiva dei Greci. L'astronomia non poteva non attrarre anche l'interesse dei Greci. Tuttavia, per ciò che sappiamo dai poemi di Omero e di Esiodo e da successive testimonianze, la loro primitiva concezione dell' universo era molto ingenua o poetica. Conoscevano bensì grandi configurazioni stellari, come le Plejadi, Orione, l'Orsa maggiore; ma la Terra era per essi un disco piano intorno al quale scorreva il fiume Oceano. La copriva un volta emisferica cosparsa di stelle che al nascere del sole si tuffavano nell'acqua e scomparivano. Sotto la Terra la cavità del Tartaro. Il Monte Olimpo saliva sino al cielo.

In Esiodo, tra la superficie inferiore del disco terrestre e il Tartaro sta il Caos, baratro sotterraneo incommensurabile, nell'analoga posizione dell'abisso babilonese e israelitico.

Questa visione popolare fu corretta da *Talete* (§ 5), che fu detto per questo il padre dell' astronomia greca. Al fiume Oceano egli sostituiva un mare immenso, e alla Terra attribuiva una forma discoide, se non curva o sferica, come pensano alcuni. Predisse inoltre un'eclisse solare, per avere, pare, concepito la luna quale corpo opaco che riceve la luce dal sole. Sostituì inoltre alla volta celeste emisferica la *sfera* celeste.

Anassimandro, altro dei filosofi ionici, contemporaneo di Talete, immaginò la Terra nella forma di un cilindro tronco, ed escluse che per sostenersi nello spazio avesse bisogno di un appoggio. Non poteva cadere perchè era equidistante da tutte le parti del cielo.

Secondo Plutarco (I sec. e. v.) lo stesso Anassimandro suppose che in origine i pianeti si muovessero lungo cerchi paralleli al

Digitized by Google

circolo base della Terra. I corpi celesti sarebbero deviati per effetto di vortici formatisi per il calore, e dell' aumento che ne derivò nella tensione dell'aria ambiente. — Si disse che con queste ipotesi Anassimandro anticipava rudimentariamente la teoria di Laplace (§ 25).

Per *Anassimene*, infine, della medesima scuola ed epoca, le stelle erano infisse, quasi chiodi sul cristallo, nella sfera celeste, ch'egli dotò di un movimento di rotazione intorno a un asse perpendicolare alla superficie terrestre: concetto questo ch'era frutto di una grande illusione ritenuta per lunghi secoli realtà. Infatti venne dissipata soltanto nel secolo XVI.

§ 17. – Pitagora, Filolao, Eudosso, Eraclide. Chi insegnò per primo che la Terra, come il cielo, ha forma sferica, ed elevò la concezione astronomica al di sopra delle primitive immaginazioni infantili, fu *Pitagora* (§ 5). Egli divise la sfera celeste in cinque zone, determinate dall' equatore, dai tropici, e dai circoli polari; e in cinque zone divise pure la superficie terrestre, corrispondenti a quelle celesti. Intorno alla Terra girano i pianeti.

Pitagora ammise anche gli antipodi. Riconobbe che Vespero, la stella della sera, e Lucifero, del mattino, sono la medesima stella. Distinse inoltre nel sole due movimenti circolari, uno diurno da levante a ponente intorno all'asse del mondo, e l'altro che si compiva in un anno da occidente a oriente lungo lo Zodiaco, cioè in un piano obliquo sull'equatore corrispondente alle declinazioni massime del Sole e ai due paralleli detti tropici; Pitagora determinò insomma l'obliquità dell'eclittica. Questo secondo movimento del Sole, e l'analogo dei pianeti che compiono entro allo zodiaco retrocessioni, avanzamenti e soste, rendeva evidente che essi — Sole, Luna, pianeti — non appartenevano alla sfera delle stelle fisse, ma si muovevano sospesi fra la Terra e queste ultime.

Pitagora stesso, o i suoi discepoli, riconobbero l'isolamento della Terra nello spazio, ed ammisero che il moto della sfera celeste fosse un'illusione dipendente dal reale movimento della Terra stessa. — Un altro concetto pitagorico era l'*armonia delle sfere.* S'immaginò che a ogni rotazione celeste corrispondesse un tono musicale, in conformità a regole numeriche che i Pitagorici trovarono nella scienza dei suoni musicali, cioè nei loro accordi.

Il pitagorico *Filolao* (V sec.), enunciò la nuova teoria dell'universo secondo la quale la Terra e i pianeti, (Mercurio, Venere, Marte, Giove e Saturno, la Luna e il Sole compresi) compivano

Digitized by Google

un movimento di rivoluzione circolare intorno al fuoco centrale *(Estia);* più esterna stava la sfera delle stelle fisse. Complessivamente egli ammetteva dunque nove corpi, ai quali ne fu aggiunto un decimo, l'*antiterra;* ciò perché il numero *dieci* era ritenuto sacro, risultando dalla somma dei primi quattro numeri della serie naturale. Noi non vediamo il fuoco perchè ci troviamo dalla parte opposta. Il sole non ha luce propria, ma illumina il mondo perchè riflette i raggi del fuoco centrale. Così Filolao apriva la via all'eliocentrismo.

Famoso è il sistema astronomico di *Eudosso* (§ 5), dalle *sfere omocentriche.* — Platone avea proposto questo problema fondamentale: « determinare i movimenti circolari e uniformi per i quali si possano spiegare in maniera soddisfacente i fenomeni che si osservano nelle rivoluzioni planetarie ». Infatti, mentre il Sole procede in un anno da ovest ad est, entro la fascia dello Zodiaco, i pianeti compiono movimenti, in apparenza complicati, consistenti in avanzamenti e retrocessioni e fermate. Oggi sappiamo che questi movimenti sono illusorî, dipendendo dalla posizione in cui si osservano mentre la terra ci trasporta nel suo moto intorno al Sole. Gli antichi ciò non riconoscendo, doveano escogitare un'ipotesi per la quale il moto capriccioso dei pianeti fosse ridotto alla regolarità.

Eudosso immaginò che esistessero più sfere concentriche alla Terra, e che ogni astro girasse in un circolo massimo di una sfera, animata da un moto di rotazione uniforme attorno al suo diametro perpendicolare al diametro di quel circolo. Ma poichè questo congegno non era sufficiente a dare ragione di tutti i fenomeni celesti, Eudosso s'indusse ad ammettere che ogni pianeta fosse animato contemporaneamente da parecchi movimenti analoghi a quello ora descritto, i quali, componendosi, producessero il moto effettivamente osservato. Suppose per ciò che i poli della sfera portante il pianeta fossero infissi in una sfera più grande, la quale girasse con velocità uniforme intorno a due poli differenti dai primi. E poichè neppur ciò bastava a rappresentare i movimenti di tutti i sette astri, l'astronomo di Cnido applicò più volte lo stesso artificio e mostrò che, col mezzo di 26 sfere ausiliarî, i noti fenomeni delle stazioni e delle retrogradazioni ottengono un'attendibile spiegazione *(G. Loria).* Queste sfere però non erano materiali, ma una pura costruzione matematica.

Eraclide (Eraclea sul Ponto; IV sec.), scolaro di Platone chiamato il *Paradossologo*, eliminò l'antiterra; e avendo osservato che Venere presentava variazioni di splendore, suppose che dipendes-

Digitized by Google

sero da diverse distanze alle quali si trovasse il pianeta dalla Terra. Perciò fece il Sole centro delle rivoluzioni di Mercurio e Venere, e pare abbia intuito che questo movimento si dovesse estendere anche alla Terra, benchè anche per lui questa rimanesse il centro dell'universo. Per spiegare poi il movimento diurno, pensò che il nostro pianeta girasse intorno a se stesso, press'a poco nello spazio di 24 ore, da occidente a oriente.

Facendo muovere il pianeta Venere intorno al Sole, Eraclide apriva la via ad Aristarco.

§ 18. – Aristarco. - Ipparco. Il sistema eliocentrico non era, con Filolao, precisamente definito, nè ad esso era arrivato Eraclide. *Aristarco* di Samo, contemporaneo di Archimede (IV sec.), anticipava in certo modo la teoria di Copernico, spiegando la irregolarità del moto dei pianeti allora conosciuti, nel percorrere lo Zodiaco. La Terra, egli pensò, tra Venere e Marte, ruota intorno al Sole analogamente agli altri pianeti, e intorno ad essa gira la Luna. Attribuì inoltre alla Terra la rotazione diurna intorno a un asse inclinato sul piano della rotazione annuale.

Tale idea — onde Aristarco fu chiamato *il Copernico dell'antichità* — sollevò forte opposizione perchè urtava contro il senso o giudizio comune, e spostando il sacro fuoco centrale dalla sua nobile posizione, offendeva la coscienza religiosa. Aristarco fu quindi dichiarato reo di profanazione sacrilega. Unico suo seguace fu *Seleuco* babilonese. Si adottò pertanto, in luogo della concezione eliocentrica, il sistema degli *epicicli* (o circoli sovrapposti), che rappresentava un vero regresso).

Ipparco (§ 7), oltrechè geografo insigne (§ 34 A), è considerato il più grande astronomo dell'antichità, avendo concorso a porre l'astronomia su basi solide anche mediante rilievi fatti in Rodi. Perfezionò gli strumenti che allora si usavano nelle osservazioni astronomiche; costruì il primo catalogo di stelle (non meno di 1022), e stabilì per mezzo di coordinate astronomiche le posizioni esatte delle stelle dette *fisse*. Egli infine ritenne insufficiente al loro scopo le teorie delle sfere omocentriche, e adottò invece il sistema degli *epicicli* e degli *eccentrici*, di cui ridiremo parlando di Tolomeo (§ 21).

Ipparco promosse infine lo sviluppo degli studi astronomici mediante la trigonometria; e mentre nella geografia matematica proseguiva l'opera di Eratostene (§§ 7, 20), preludeva a quella di Tolomeo.

Digitized by Google

§ 19. – Aristotele (Stagira, 384-322 a. C.) fu la mente più vasta dell'antichità classica, avendo abbracciato nelle sue *Opere* tutto lo scibile del tempo suo, dalla filosofia alle scienze naturali. Per tale suo genio multiforme e poderoso, egli destò nei posteri tanta ammirazione, che la sua dottrina non si abbandonò mai fino al Rinascimento, onde venne a costituire per molti secoli un impedimento a iniziare nuove ricerche.

Gli *scritti* maggiori di Aristotele sono i seguenti: *Scritti logici*, compresi sotto il titolo *Organon* o strumento, perchè trattava del metodo, strumento generale del pensiero; *metafisici* o della « filosofia prima »; *naturalistici*, che contengono le teorie cosmogoniche e astronomiche, quelle relative alla generazione e corruzione, e la meteorologia. Si aggiungano gli scritti di carattere *morale*, *politico*, *zoologico*, *Della poetica*, *Dell'Anima*, ecc.

Secondo le vedute cosmologiche di Aristotele la materia che compone la Terra è diversa da quella del Cielo, che è l'*etere*, adatto al movimento circolare. Dalla Luna in giù sono i quattro elementi — fuoco, aria, acqua e terra — distinti e distribuiti nell'Universo secondo la gravità specifica. La terra è assolutamente pesante, e si trova per ciò nel mezzo del mondo, mentre il fuoco, leggerissimo, è nella sfera più prossima all'etere. L'acqua e l'aria stanno fra la terra e il fuoco.

Anche Aristotele ammise il sistema cosmico geocentrico, ma lo riformò secondo idee proprie. La forza immateriale motrice dell'Universo dovea agire dalla periferia, cioè dal cielo delle stelle fisse, e propagarsi fino al centro dell'Universo, in cui stava la Terra, per una specie di attrito; vale a dire che mentre per Eudosso le sfere addette al moto di ciascun pianeta formavano un sistema indipendente per la necessità di escogitare un'ipotesi diversa da pianeta a pianeta, Aristotele pensò a connettere i varî sistemi di sfere. La sfera delle stelle fisse muove quella di Saturno; Saturno comunica il moto a quella di Giove; Giove a Marte, ecc. Perciò Aristotele fu costretto ad aumentare ancora il numero delle sfere, intercalandone 22, che immaginò contigue le une alle altre così da evitare il vuoto. Erano sfere *materiali*, trasparenti, disposte come altrettanti gusci le une dentro le altre.

§ 20. – La geodesia. A questo punto merita un cenno la geodesia, la quale ebbe a suo iniziatore in Grecia *Eratostene*. A lui già accennammo anche come cultore degli studi matematici (§ 7), e lo ricorderemo nuova-

Digitized by Google

mente trattando della Geografia (§ 34-*A*). Dedicatosi pure agli studi astronomici, ebbe, nel più ristretto campo geodetico, il merito di misurare abbastanza esattamente un arco di meridiano.

Rinomanza ancor maggiore, in ciò che oggi si dice Geodesia, acquistò *Erone* di Alessandria, già da noi ricordato (§ 7), autore di uno scritto intitolato *Diottra*.

CAPITOLO IV.

Tolomeo, Copernico, Keplero, Galileo, Newton.

§ 21. – Tolomeo. Nella storia dell'astronomia *Claudio Tolomeo* è quello che fu Galeno nella storia della medicina. Organizzò mirabilmente il sapere astronomico del suo tempo, quasi a chiudere un'epoca, ma non senza aggiungervi il contributo proprio. Molto poi egli dovette ad Ipparco (§§ 7, 18, 34-*A*) da lui spesso citato.

Dove sia nato non sappiamo precisamente. Risulta però che era di origine egiziana (forse di Tolemaide Hermeia, nell'Egitto superiore), e che visse molto tempo ad Alessandria, nel II° secolo dell'êra nostra.

Compose in greco varie opere come *Ipotesi dei pianeti*, la *Geografia*, l'*Opus quadripartitum*, ecc.; ma la più importante è quella che ha per titolo *La Sintassi matematica*, o *La grande Sintassi*, come poi fu chiamata. Gli Arabi (§§ 4, 10) le diedero il nome di *Almagesto*.[1] Fu tradotta dal greco in arabo (827), e poi in latino. La prima edizione, nel testo latino, è del 1515 (Venezia).

I libri dell'*Almagesto* sono otto. Vi si pone anzitutto il principio della Terra immobile nel centro dell'Universo, intorno al quale ruota il Sole che dell'Universo è il cuore. Successivamente si parla delle zone in cui il Cielo è diviso, del sorgere e del tramontare degli astri, e della lunghezza dell'anno e dei mesi. Si descrive l'*astrolabio* che, come la sfera armillare, serviva a concepire la meccanica dell'Universo secondo le idee degli antichi. Si parla del Sole, della Luna e dei fenomeni onde si hanno le congiunzioni e opposizioni, e le loro connessioni con le eclissi. Si studiano le stelle

1. Questa parola è la traduzione in arabo di *La Grande*.

Digitized by Google

fisse e la processione degli equinozi; e infine si tratta dei cinque pianeti: Mercurio, Venere, Marte, Giove, Saturno.

Tolomeo mantenne la teoria degli epicicli di Ipparco (§ 18), secondo la quale il Sole percorre in un anno un epiciclo il cui centro ruota in pari tempo intorno alla Terra, da occidente a oriente. Su questa teoria degli epicicli, come degli eccentrici, conviene che c'indugiamo alquanto essendo fondamentale nella questione dei due sistemi tolemaico e copernicano.

La disposizione e il movimento degli astri rispondono a un ordine perfetto. Ricordiamo che, secondo la dottrina aristotelica, terra, acqua, aria, fuoco erano disposti in serie ascendente. Seguivano le sfere celesti, abbracciate dall'Empireo, sede di Dio. Ma poichè nel movimento degli astri si notavano delle irregolarità o incongruenze (pareva infatti che il loro cammino, in dati momenti, ritardasse, si accelerasse o deviasse, ora allontanandosi ora avvicinandosi a noi), si ricorse alla teoria degli epicicli. I movimenti circolari delle sfere si amplificarono pertanto con movimenti circolari, e al cerchio principale si aggiunse un altro cerchio il cui centro seguisse il primo, e la circonferenza portasse il pianeta facendolo girare con maggior velocità.

Senonchè neanche questa ipotesi parve rendere una ragione sufficiente del variare dei movimenti degli astri in relazione alla Terra (immobile); e si ricorse quindi anche alla teoria degli *eccentrici*. Dovendosi cioè mantenere la figura circolare, s'immaginò che i cerchi seguiti da qualche pianeta non avessero precisamente a centro la Terra, ma un punto eccentrico a questa, pur essendo subordinata al centro del globo terrestre. Di simili epicicli ed eccentrici, l'uno entro l'altro, se ne immaginarono parecchi. [1]

Tolomeo si attenne a questa complicata rappresentazione cosmica, oltre alla distinzione aristotelica fra il Cielo e la Terra. Il Cielo era immutabile, incorruttibile, eterno, dotato del movimento perfetto, ossia circolare; la Terra rimaneva la sede degli elementi variabili, corruttibili, caduchi, e avea soltanto il movimento retto, all'in su o all'in giù.

---

1. A chiarire i concetti di *epicicli* e di *eccentrici* aggiungiamo qualche altra osservazione. — Si ammise per es. che Venere descrivesse l'epiciclo in un tempo eguale a quello che passa fra due successive congiunzioni col Sole. Mentre il pianeta si muove sull'epiciclo, il centro di questo descrive un altro circolo, il *deferente*, che è situato sul piano dell'eclittica, e il cui centro è il centro della Terra che è pure il centro del mondo. In tale sistema a ogni pianeta corrisponde adunque un deferente che si muove da occidente ad oriente in modo che il centro dell'epiciclo, che è in un punto della circonferenza del deferente, descrive la circonferenza stessa nel tempo corrispondente alla rivoluzione zodiacale del pianeta. Il Sole, movendosi sull'eclittica senza stazioni nè regressioni, non aveva epiciclo, ma per il Sole si ammise l'*eccentrico*, cioè il movimento lungo una circonferenza che non aveva per centro il centro della Terra; e ciò per spiegare il fatto che il moto del Sole non è uniforme.

Digitized by Google

Conserva valore nel sistema tolemaico ciò che è applicazione pura della matematica, e più precisamente della trigonometria di cui anch'egli si valse. Questa, nota il Loria, differisce dalla nostra solo perchè, in luogo del *seno d'un arco* si considera la corda dell'arco doppio. Ciò mette in luce il fatto notevole che la trigonometria sferica nacque prima della piana, primo esempio del singolare fenomeno della violazione, da parte dei grandi pensatori, dell'ordine logico, il quale sembrerebbe vincolo infrangibile nelle indagini appartenenti alle scienze di puro ragionamento. Dalle pagine dell'*Almagesto* si apprende pure che tutti i teoremi dell'odierna trigonometria sferica si possono dedurre dal teorema di Menelao, [1] relativo ad un triangolo sferico tagliato da un circolo massimo: mirabile esempio di rigorosa applicazione del principio dell'unità di metodo!

L'*Opus quadripartitum* (in quattro libri) di Tolomeo tratta di astrologia, ed ebbe una grande fortuna perchè diventò fondamentale per l'astrologia del medio evo.

Il principio che l'informa trovasi in Aristotele. Il cielo è il primo motore dei fenomeni terrestri; ne dipendono le maree e le condizioni in cui si svolge la vita dei vegetali e degli animali, Ma perchè dunque non ne dipenderanno pur quelle degli uomini? Importa quindi non poco costituire una scienza che renda possibile prevedere anche i fenomeni umani.[2]

Così si diffuse quella scienza profetica che dall'Oriente era passata in Grecia. Che se non era una scienza vera e propria, reggendosi sul pregiudizio, tuttavia il suo lungo dominio, durante il medio evo, per l'incoraggiamento che le diedero principi e regnanti bramosi di avere gli *oroscopi* delle loro fortune, valse, in ultima analisi, a promuovere gli studi della stessa scienza astronomica.

La dottrina di Tolomeo fu dottamente commentata, nel Museo di Alessandria, da *Teone* che qui ebbe i natali, proprio nel IV secolo della nostra êra, ossia quando più infieriva la lotta tra il pa-

---

1. Con *Menelao* (alessandrino), vissuto nel 1° secolo dell'êra volgare, la teoria del triangolo sferico figura come destinata ad assumere l'ufficio di protagonista degli avvenimenti di cui è teatro la sfera. A Menelao risalgono inoltre alcune proposizioni sulle traversali in un triangolo piano o sferico le quali, grazie alle frequenti occasioni in cui vengono invocate, resero popolare il nome di Menelao anche negli ambienti scolastici.

2. Cicerone in *De divinatione* (L. II, cap. 42) scriveva: « Come gli avvicinamenti e gli allontanamenti degli astri producono le diverse stagioni dell'anno e tante importanti variazioni nello stato dell'atmosfera, essendo queste cose che vediamo prodotte per la forza del sole, così (gli astrologi) stimano non solo verosimile ma assolutamente vero, che a seconda della disposizione dell'aria in quel momento vengano, alla loro nascita, animati e formati i fanciulli, e formarsi, in relazione a ciò, l'ingegno, i costumi, le abitudini, i caratteri, il corpo, tutta l'azione della vita ed i futuri eventi di ciascuno ».

Digitized by Google

ganesimo e la Chiesa cristiana. Sua figlia *Ipazia*, educata nello stesso museo alle severe discipline matematiche dei Greci, e che vi commentò Apollonio e Diofanto, si vide sollevare contro, da monaci fanatici, il popolo di Alessandria, che le dava la morte facendo poi ludibrio del suo corpo.

Seguace del sistema tolemaico fu anche S. Tommaso che aderì, con importanti riserve, all'astrologia, tenuta però da lui ben distinta da ogni specie di ciarlataneria.

§ 22. – Copernico. (1473-1543). Nato a Thorn, città della Prussia orientale (che allora apparteneva al regno di Polonia), *Nicolò Copernico* studiò medicina a Cracovia, ma dimostrò fino dalla prima giovinezza grande inclinazione agli studi astronomici. Nel 1496 era a Padova ad ascoltarvi lezioni di filosofia e medicina, discipline nelle quali ebbe la laurea; e di qui andò parecchie volte a Bologna a udire le lezioni di astronomia di Domenico Maria Ferrara, per opera del quale, e per il suo riconosciuto valore, fu nominato professore di Matematiche nell'Università di Roma. Ritornato in Polonia nel 1502, si fece prete, e divenne canonico nella città di Frauenberg. Perseverò tuttavia nei suoi studi astronomici, e comprese presto come non si potesse accogliere integralmente l'Almagesto di Tolomeo.

Copernico infatti si convinse che i movimenti celesti appaiono i medesimi tanto se si ammette che la Terra giri da occidente a oriente, quanto se si ritenga che giri invece il Sole da oriente ad occidente. Ciò posto, meglio conveniva attribuire il movimento alla Terra anzichè a migliaia e migliaia di corpi. Col movimento della Terra intorno al proprio asse, in 24 ore, tutti i fenomeni celesti potevano ricevere una spiegazione. Concepì pertanto un sistema per cui la sfera delle stelle fisse rimaneva immobile come sfera esterna del cosmo, e successivamente venivano i pianeti allora conosciuti e che sappiamo essere Saturno, Giove, Marte, Venere, Mercurio. Il Sole stava immobile nel centro.

I risultati delle sue osservazioni e dei suoi calcoli egli espose nell'opera *De revolutionibus orbium caelestium* che fu stampata a Norimberga per opera di amici solo tardi. Egli ne ebbe la prima copia a Frauenberg il giorno stesso della sua morte (24 maggio 1543).

Con la dottrina di Copernico, onde il Sole cessava di figurare come vassallo della Terra, cadeva la teoria degli epicicli, bastando essa a spiegare le stazioni e le retrogradazioni dei pianeti. Non

Digitized by Google

tutte le difficoltà erano con ciò superate, rimanendo per es. tuttora quella « incongruenza » a superare la quale s'immaginarono gli eccentrici; i suoi calcoli non erano tutti esatti, nè egli rispondeva a tutte le obbiezioni. Rimase tuttavia a Copernico la gloria di aver utilizzato e fecondato col proprio genio e con grande coraggio opinioni antiche. Queste egli riportava nell'opera sua, e perciò parve da principio che essa avesse carattere storico. Inoltre, poichè la sua teoria prendeva la forma di un'*ipotesi*,[1] non sollevò subito rumore. Copernico stesso però previde gli attacchi inevitabili di cui gli ignoranti l'avrebbero fatta bersaglio, e nella lettera di dedica a Paolo III osservava che « le verità matematiche devono essere riservate ai matematici ».

§ 23. – Keplero. *Giovanni Keplero*, nato a Weil nel Wurtemberg il 1571, teneva la cattedra di matematica nel ginnasio di Graz quando concepì il proposito di conciliare il sistema copernicano con la vecchia dottrina che animava gli astri. Imbevuto infatti, com'egli era, di misticismo pitagorico, immaginò che i pianeti fossero guidati da spiriti, e il Sole concepì, al pari di altri prima di lui, come l'anima del mondo.[2] Più tardi alle « anime motrici » sostituì le « forze » naturali, a ciò indotto anche dalla considerazione che la forza motrice diminuisce con l'aumentare della distanza.

Seguace di Copernico, scrisse l'*Epitome astronomiae copernicanae*, che è un testo scolastico.

L'idea direttiva per Keplero era questa: Nell'universo dobbiamo ricercare rapporti matematici, quantitativi, nell'armonia dei quali si manifesta lo spirito divino: solo così noi acquisteremo dell'universo stesso una conoscenza scientifica. Al quesito quali siano questi rapporti, egli rispondeva da prima aprioristicamente; poi valendosi delle osservazioni fatte dal matematico e astronomo *Tycho Brahe*, avversario del sistema copernicano, stabiliva tali rapporti oggettivamente.

---

1. La pubblicazione dell'opera di Copernico fu curata dal predicatore Osiandre, il quale per evitare lo scandalo che avrebbe potuto suscitare, scrisse una prefazione che sembrava dettata dallo stesso autore, e in cui si diceva che la teoria esposta era una pura ipotesi utile ad esercitazioni matematiche. L'astronomia, vi si soggiungeva, nulla poteva insegnare di certo; e ciò contrariamente al pensiero di Copernico. — Contro una siffatta prefazione pusillanime protestava Giordano Bruno (§ 49) imputandola a « un qualche asino ignorante e presuntuoso, che volle giustificare il libro presso altri asini ». Keplero provò più tardi che era una sofisticazione; e quanto al valore da attribuire all'*ipotesi*, ne rivendicava il carattere positivo (§ 59).

Lutero condannava il sistema copernicano come pazzesco. Melantone infine osservò che non era onesto lasciarsi sedurre da simili opinioni per pura esercitazione dello spirito, anzichè attenersi alla verità consacrata dalla tradizione.

2. Nel *Mysterium cosmographicum*, prima sua opera pubblicata nel 1597, Keplero concepì l'universo come l'immagine della Trinità: il centro corrisponde al Padre, la sfera circostante al Figlio, ed il rapporto che li unisce (geometrico) allo Spirito Santo.

Digitized by Google

Avendo studiato il pianeta Marte, Keplero ne estendeva le leggi a tutti i pianeti, dando un classico esempio d'*induzione* (§ 51 e segg.); e del loro movimento egli stabiliva le leggi seguenti:

I. Le orbite dei pianeti intorno al Sole non sono rigorosamente circolari, come era parso a Copernico, ma sono circoli debolmente schiacciati *(ellissi);* il Sole occupa uno dei fochi delle ellissi, cioè tutte hanno un foco comune ove sta il Sole.

II. Il moto di ciascun pianeta nel percorrere la propria ellissi è tanto più rapido quanto più è vicino al Sole, e tale che le aree descritte dal raggio vettore condotto da esso al Sole sono proporzionali ai tempi impiegati a descriverle.

III. I quadrati dei tempi delle rivoluzioni planetarie sono proporzionali ai cubi degli assi maggiori delle corrispondenti ellissi.

Di ciò Keplero trattava nell'opera sua più importante: *L'armonia del mondo.* Infine con le *Tavole ridolfine* egli rendeva facile stabilire in qualunque tempo la posizione di un qualsiasi corpo celeste, così da poter predire determinati fenomeni astronomici.

§ 24. – Galileo. Keplero e Galileo, attenendosi in pari tempo alla matematica e all'esperienza, impressero alla scienza il suo vero carattere (§ 52). Galileo poi, seguendo questo rigoroso indirizzo, compiva un passo ulteriore e decisivo, quasi pervadendo con esso tutto lo scibile. Già vedemmo la sua eccellenza nella matematica (§ 13), e più tardi diremo delle sue scoperte e invenzioni in altre scienze.

La vita di Galileo merita un rilievo particolare per l'aspro conflitto che il movimento intellettuale affermatosi con lui, come già con Leonardo, dovette sostenere contro la resistenza tenacissima della tradizione.

Galileo nacque a Pisa il 18 febbraio 1568. Suo padre lo educò all'indipendenza del giudizio. Dedicatosi da prima agli studi della medicina, sentì poi una ardente passione per la matematica, e nel 1589 ottenne una cattedra nell'Università della città natale. Nel 1592 il Governo Veneto lo chiamava a professare matematica nell'Università di Padova, dove rimase 18 anni, i più felici, per sua dichiarazione, della sua vita.

A Padova, avendo udito narrare ch'era stato costruito in Olanda uno strumento che avvicinava gli oggetti lontani, inventò il telescopio che porta il suo nome; e a rimeritarlo di una invenzione tanto importante il Governo gli conferiva la cattedra di Padova a vita.

Digitized by Google

Nell'opuscolo *Sidereus Nuncius* Galileo espose le scoperte fatte mediante il nuovo strumento. Avvertì infatti le macchie del Sole come in questo inerenti, smentendo così la incorruttibilità dei cieli, a cui tuttora generalmente si credeva; scoperse le montuosità della Luna; scorse per primo i satelliti di Giove, notando per ciò che anche altri corpi celesti, e non soltanto la Terra, come pensavano i Tolemaici, erano centro di movimenti; [1] riuscì a distinguere le stelle della via lattea; scoperse le fasi di Venere e gli anelli di Saturno. Keplero, alla notizia di tali scoperte, lo esaltava col motto: *Vicisti, Galilee.*

Il Granduca di Toscana, geloso che un tanto uomo, nato nei suoi dominî, appartenesse ad altro Studio, in territorio diverso, lo nominò « Primario Matematico dello Studio di Pisa e Primario Matematico e Filosofo del Granduca di Toscana, senza obbligo di residenza né di lettura in Pisa ». Galileo allora si trasferì a Firenze, ma prima si recò a Roma per comunicare la sue scoperte agli scienziati del Collegio Romano.

A Roma ebbe ottime accoglienze, tanto che venne ammesso all'Accademia dei Lincei; ma parecchi ecclesiastici fiorentini s'insospettirono contro di lui per il *Discorso intorno alle cose che stanno in su l'acqua o che in quella si muovono* (1612), e si mostrarono allarmati della sua privata dichiarazione che « scienza e fede possono rimanere indipendenti ». Ottennero pertanto che il Santo Uffizio, esaminati gli scritti di Galileo, nonostante le sue difese, li dichiarassero eretici (23 febbraio 1616). Eretica era la proposizione, da lui sostenuta in accordo con Copernico, che il Sole stesse immobile nel centro dell'Universo, e la Terra girasse. All'ordine datogli dal Pontefice di abbandonare queste false opinioni, Galileo promise di obbedire.

Ritornato a Firenze non subì ulteriori molestie fino a quando il *Discorso sulle comete* pubblicato nel 1619 non sollevò le ire dei Gesuiti e le critiche più aspre. Egli si difese col mirabile volume « *Il saggiatore* » da lui dedicato allo stesso Papa Urbano VIII. Le ostilità tuttavia, anzichè acquetarsi, si riaccesero più che mai quando il 21 febbraio 1632 usciva alla luce a Firenze, con licenza dei superiori, il *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo, tolemaico e copernicano.*

Il Dialogo avviene tra Salviati e Sagredo, due amici di Galileo, e Simplicio, che rappresentava la filosofia aristotelica. Sagredo è

---

1. Galileo metteva così in evidenza il fatto che vi fossero corpi i quali si muovono intorno ad altri, principio che i Copernicani ammettevano appunto per la Terra in rispetto al Sole, contro i Tolemaici.

Digitized by Google

il più ardito; Salviati è un moderatore; Simplicio è l'aristotelico fanatico e cocciuto. S'insinuò che in quest'ultimo ameno personaggio Galileo avesse voluto raffigurare lo stesso Papa Urbano (il quale, quando era il Cardinale Maffeo Barberini, era amico di Galileo). Così avvenne che del *Dialogo sui massimi sistemi* s'intercettasse la vendita, e il Tribunale del Santo Ufficio iniziasse contro l'eretico un regolare processo.

Galileo era accusato di aver mancato alla promessa del 1616. Egli si difese osservando ai suoi giudici che avea difeso la teoria del moto della Terra come puramente ipotetica, e soggiunse che facessero pure di lui ciò che loro piaceva. Minacciato della tortura, e condotto come reo nell'aula del Convento della Minerva in abito di penitenza, fu costretto a leggere l'atto di abiura presentatogli. Il *Dialogo* incriminato venne dato alle fiamme.

Galileo fu poi severamente vigilato a Roma, a Siena, ad Arcetri, ma proseguì i suoi studi, e fra l'altro faceva osservazioni sulla Luna, di cui determinava le così dette «librazioni». Era però ormai fisicamente stremato, e per giunta fu colpito da cecità. Se furono condotti a termine i *Dialoghi sopra due nuove scienze*, nei quali si tratta classicamente della teoria delle forze — Galileo fu anche, come vedremo (§ 32), un grande fisico — lo dobbiamo ad alcuni suoi devoti discepoli. Si spegneva l'8 gennaio 1642.

Galileo avea esitato alquanto ad aderire al sistema copernicano, impressionato dallo scherno di cui questo era oggetto; però nello stesso tempo era convinto che gli schernitori non l'avessero compreso, e fossero vinti stoltamente dal pregiudizio. Manifestò il suo pieno consenso dopo le scoperte fatte col telescopio, cioè nel *Discorso sui galleggianti* (1612), e nell'*Istoria e discussione intorno alle macchie solari* (1613). Nè si limitò ad accogliere la teoria di Copernico, bensì in varî punti la corresse, e la integrò con molteplici osservazioni e idee sue.[1] Importantissima poi fu la legge d'inerzia ch'egli pure scopriva, e di cui diremo altrove (§ 32).

Il *Dialogo sui massimi sistemi* è ricchissimo di nuovi elementi. L'alterabilità vi è proclamata come una legge dovunque benefica; la Terra diventava un pianeta niente affatto privilegiato, ma simile agli altri, e quanto alla sua pretesa immobilità, Galileo dimostrava che gli aristotelici cadevano in una petizione di principio, perchè la davano per provata senza provarla. Vi si

1. Galileo diede un appoggio al sistema copernicano con l'enunciazione del principio della indipendente coesistenza dei movimenti, per il quale si eliminava l'obiezione che la rotazione avrebbe tolto ogni equilibrio sulla superficie terrestre.

Digitized by Google

dimostra inoltre la rivoluzione della Terra mediante osservazioni sull'irradiazione della luce, sulle fasi dei satelliti di Giove, sui mutamenti della macchie solari, ecc.

Questo *Dialogo* è un'opera fondamentale sia nella storia della scienza, sia, in quanto è scritto in lingua italiana, nella storia della nostra letteratura; ed è la più rappresentativa dell'epoca in cui apparve, per la lotta drammatica che si svolgeva tra la sapienza antica e quella moderna.

« Vasta rappresentazione unitaria, che si modella sulla visione vasta e armonica dell'Universo, maestosa e sublime, nell'insieme, varia di luci e di colori, di toni e d'armonie, nei suoi particolari, è ricca di passioni e d'entusiasmi, di fantasia e di sentimenti, come un'opera d'arte. Visione pacata e serena della Natura, appassionata ricerca e proclamazione del Vero, esaltazione poetica dinanzi alla bellezza e alla verità, gioia intima che sola può dare la vita del pensiero, coscienza del proprio valore e insieme umiltà religiosa di fronte alla vastità della Natura e alla grandezza di Dio, senso della propria responsabilità, arguzia di ragionamento, comicità di situazioni, sarcasmo fiero contro ignoranti avversari, ardore eroico di scienziato e calore d'innamorato e spirito polemico poderoso, tragedia e commedia, poema narrativo e lirica, elegia e satira, vivono mirabilmente nell'opera, che ha un vasto e profondo respiro di vita piena ». [1]

§ 25. – Newton.

Il progresso ulteriore dell' astronomia. — Con Isacco Newton il metodo della ricerca scientifica rappresentato gloriosamente da Galileo, apre la via sacra a verità nuove.

I. Newton nacque a Woolsthorpe presso Nottingham l'anno medesimo in cui Galileo moriva (1642), il 25 dicembre; e fino dalla prima età, quando avrebbe dovuto custodire le mandre affidategli, preferiva dedicarsi alle costruzioni meccaniche. Insegnò nell'Università di Cambridge, dove avea compiuto gli studi, e frutto delle sue ricerche sulla meccanica celeste fu la celebre opera che ha per titolo *Philosophiae naturalis principia mathematica.* È un'opera per la quale non è possibile dissociare Newton da Keplero e Galileo.

Una regola speciale che vi domina è la seguente: « Quelle proprietà che non possono essere aumentate o diminuite, e che convengono a tutti i corpi sui quali si possono fare delle esperienze,

---

1. Così presenta l'opera del sommo nostro Galileo, Giulio Dolci, che ne fa pure il commento. (Milano, Signorelli, 1925).

Digitized by Google

si devono considerare come proprietà di tutti i corpi, in generale... Non si deve abbandonare l'*analogia* della natura, perchè questa ha la cura costante di concordare con se stessa ». Tale regola avviava alla scoperta della gravitazione reciproca dei corpi, sulla quale ci dobbiamo soffermare.

Tramontata la teoria tolemaica, e divenuto ormai inoppugnabile il copernicanismo, occorreva stabilire per quale legge i corpi si muovono nello spazio. La dottrina dei « vortici » di Cartesio, esposta più oltre (§ 32) e che può essere qui richiamata, non soddisfaceva anche perchè nè era in accordo con le leggi di Keplero, nè avea il conforto dell'esperimento. Il punto di vista nuovo, che pose in luce la detta legge, fu quello dell'inerzia.

Già Galileo, come dicevamo (§ 24) e come ridiremo (§ 32), studiando i movimenti di un corpo dipendenti da altro corpo, avea compreso che se esso fosse libero da ogni esteriore influsso si muoverebbe sempre nella medesima direzione e con la stessa velocità. E poichè i pianeti non mantengono una sola direzione ma girano intorno al Sole, loro centro, Newton attribuì al Sole la forza di gravitazione sui pianeti. Attenendosi poi alla terza legge di Keplero, stabilì la legge della gravitazione nei termini seguenti: « L'attrazione è proporzionale ai quadrati inversi della loro distanza dal Sole ». Per es. a distanza doppia l'attrazione del Sole sui pianeti è di $\frac{1}{4}$, a distanza tripla si riduce a $\frac{1}{9}$, e via dicendo.

Tale concetto meccanico si estende naturalmente anche alla Terra in relazione a qualsiasi altro corpo, onde la formula definitiva della legge newtoniana è questa: « L'attrazione esercitata dalla Terra sopra qualunque corpo è inversamente proporzionale al quadrato della distanza del corpo dal centro della Terra, ed è direttamente proporzionale alla massa del corpo stesso ».

La forza d'attrazione è però reciproca: non è insomma solo della Terra verso il corpo, ma anche di quello verso di essa. Se questa seconda gravitazione appare insignificante, ciò dipende esclusivamente dalle proporzioni delle masse. L'azione e la reazione sono comunque costanti.

Il Sole, massa maggiore, attrae i pianeti, e questi attraggono alla loro volta il Sole, mentre gravitano pure fra loro. Tutti i corpi celesti infine gravitano gli uni sugli altri in relazione alle loro masse e distanze. Da ciò nascono certe perturbazioni che Newton constatava ad es. nel moto della Luna intorno alla Terra, e nei movimenti dei satelliti di Saturno e di Giove, intorno ai loro pianeti.

Digitized by Google

Per un tal gioco di attrazione il Sole non poteva rimanere del tutto immobile. Si muove anch'esso, con tutto il sistema planetario, intorno a un centro di gravità che è però assai poco lontano dal centro del Sole stesso, e non è dunque un centro assoluto. Nè qui si arrestano le scoperte a cui dava luogo la concezione definitiva del Newton.

« L'amor che muove il cielo e le altre stelle » di Dante, diventava pertanto, col Newton, principio di scienza. Si può ricercarne l'ultima ragione? *Hypotheses non fingo*, rispondeva il Newton. A lui bastava rilevare « cause dimostrabili » *(verae causae)*. [1]

Il successo della sua dottrina fu trionfale. L'astronomo *Edmondo Halley* esprimeva un giudizio non soltanto suo ma generale quando di Newton scriveva: « *Nec fas est propius mortali attingere Divos* ». Nell'abbazia di Westminster ove riposano le sue ossa, il mausoleo erettogli in segno di riconoscenza dalla Nazione ch'egli illustrò così altamente come scienziato, porta questa eloquente iscrizione: *Humani generis decus.* [2]

L'astronomia posta per tal guisa nella retta via, fioriva successivamente per opera di altri astronomi, dei quali ci limiteremo a ricordare soltanto due: *Pietro Simone Laplace* (1749-1827) e *Federico Guglielmo Herschel* (1738-1822). Al primo appartiene la celebre ipotesi, da lui concepita simultaneamente a *Emanuele Kant*, sull'origine del sistema solare. L'ipotesi è questa: « Da un'immensa nebulosa primitiva agitata da moto rotatorio, per un graduale processo di condensazione, si sarebbero staccati come anelli i pianeti e i satelliti, e così si sarebbe costituito l'intiero sistema dei corpi celesti ». — L'Herschel, costruttore di telescopi più potenti di quelli che fino allora s'erano usati, prese a oggetto particolare dei suoi studi le nebulose e le stelle fisse, e fece parecchie scoperte, per es. del pianeta Urano, di due suoi satelliti, e di due nuovi satelliti di Saturno.

§ 26. – L'ASTRONOMIA DOPO NEWTON. Successivamente si conseguirono nel campo dell'astronomia, sia matematica, sia fisica, importanti risultati, ai quali collaborò una folla di astronomi stranieri e italiani. Fra questi ultimi segnaliamo il *Secchi* e lo *Schiaparelli*. Il primo studiò le

---

1. Più tardi si pensò che la causa della gravitazione universale si possa riporre nell'*etere*.

2. Della concezione dell'origine della terra secondo Cartesio, si dirà trattando della sua fisica (§ 32).

Digitized by Google

stelle fisse e il Sole, il secondo le stelle cadenti, e costruì la carta del pianeta Marte. Si scopersero moltissimi asteroidi (o piccoli pianeti) e satelliti dei varî pianeti con i loro movimenti; e una particolare menzione richiede la scoperta del pianeta Nettuno.

L'astronomo francese *Leverrier* avea notato che nel movimento del pianeta Urano, scoperto da Herschel nel 1781, si rivelavano differenze relativamente alle leggi di Keplero: Urano non le seguiva esattamente. Argomentò pertanto che esse, vere rispetto al Sole e ai pianeti singoli, non tenevano conto dell'attrazione reciproca della altre masse planetarie vicine, tra le quali, a seconda delle loro variabili posizioni nelle diverse epoche, dovea pur darsi un reciproco influsso. Nel caso specifico, se i movimenti di Urano non seguivano perfettamente le leggi di Keplero, il Leverrier pensava che ciò potesse dipendere dall'esistenza di un altro pianeta relativamente vicino, e, in base alla legge newtoniana della massa e della distanza, egli calcolò quali avrebbero dovuto essere la massa e la distanza dell'ipotetico *perturbatore* dei movimenti di Urano. Ma poichè non possedeva un apparecchio ottico abbastanza potente per verificare se nella regione del cielo indicatagli dai calcoli ci fosse o meno il supposto pianeta, ne scrisse all'*Enke* dell'osservatorio di Berlino. Questi incaricò della ricerca il *Galle*, suo assistente, e l'ipotesi e i calcoli del Leverrier trovarono pieno riscontro nella realtà. La sera del 23 settembre 1846 il Galle vide il pianeta ricercato, cui fu dato il nome di Nettuno. Così la teoria della gravitazione universale e le stesse leggi di Keplero ricevevano la più splendida conferma.

Si studiarono inoltre particolarmente alcuni corpi celesti, come Giove, la Luna, Marte e il Sole, e molto giovò a questi studi, con lo spettroscopio, l'*analisi spettrale.*

Se dalla massa degli astri, situati alla distanza di milioni e milioni di chilometri dalla Terra, noi non possiamo togliere particelle per sottoporle all'analisi chimica, sappiamo però esaminare la loro luce, e da questa argomentare di quali elementi chimici siano costituiti. Tale esame si fa mediante l'analisi spettrale, la cui invenzione si deve ai due scienziati tedeschi *Bunsen* e *Kirchhoff.*

Il principio fondamentale, come sappiamo dalla Fisica, è questo: « Ogni gas incandescente dà uno « spettro suo proprio intieramente diverso da quello degli altri gas ». Secondo questo principio si riconobbe la natura chimica dei gas e dei vapori osservando la loro luce scomposta e deviata (rifratta) attraverso il

Digitized by Google

prisma. Si poterono così spiegare le righe nere costanti che attraversano lo spettro solare (ossia la luce del sole scomposta dal prisma nei così detti « sette colori » dell'iride), e stabilire in conseguenza la composizione chimica del sole. Analogamente lo spettro delle stelle fisse, della Luna e di Venere.

CAPITOLO V.

Fisica e Chimica.

§ 27. – I PRIMORDI DELLA SCIENZA DELLA NATURA PRESSO I GRECI. Una legge dell'evoluzione dello spirito umano, che abbraccia necessariamente la storia delle scienze, è che solo a stento l'investigazione positiva soppianta i prodotti della pura fantasia. Così ci spieghiamo il primitivo prevalere e il lungo persistere del mito, o della concezione immaginosa e poetica, nell'interpretazione della natura. Di fatto l'animismo e l'antropomorfismo mantennero il loro impero sulle menti umane per molto tempo.

Tuttavia già circa sei secoli prima di Cristo la *filosofia* (nella quale era compresa allora ogni specie di sapere) tenta di svincolarsi dalla tradizione, e d'interpretare l'origine del mondo, della vita, dell'uomo, mediante elementi della realtà. Questi elementi, nei primordi del pensiero, erano il *fuoco*, l'*aria*, l'*acqua*, la *terra*.

Notevole è, in questo primo sforzo di ricostruire il mondo, l'opera della scuola *ionica*, dei cui principali rappresentanti *(Talete, Anassimene, Anassimandro)*, abbiamo già più d'una volta fatto cenno (§§ 5, 16).

Talete (§§ 5, 16) ritenne che tutto avesse origine dall'*acqua* (o dall'umido). Conobbe le proprietà magnetiche della calamita, e quelle elettriche dell'ambra.

Anassimene (§ 16) pose come primo elemento dell'universo l'*aria*, che tutto penetra simile a un'anima umana. Per l'aggregarsi delle sue particelle si generò ogni cosa. Egli poi espresse anche il concetto che gli esseri viventi siano sorti non da germi preesistenti, ma *spontaneamente*, in conseguenza dell'azione del calore solare sul fango terrestre.

Anassimandro (§ 16) risale al di là dei quattro elementi classici, e immagina, come fonte di tutto, un *quid* indeterminato, indistinto. Quanto all'uomo pensò che abbia avuto origine allorquando la Terra era in uno stato semiliquido. Più propriamente, i germi

Digitized by Google

dond'egli sarebbe nato erano sparsi da prima nell'acqua, e si sarebbero sviluppati col consolidarsi della Terra. In questa teoria si credette di veder profilarsi, grossolanamente, l'intuizione moderna del *trasformismo*.

Per *Eraclito* di Efeso, vissuto intorno al 500, diventa fonte dell'universo il *fuoco*, il calore. Ancor più notevole è in lui la teoria che essenza dell'essere sia il *divenire*. *Tutto scorre*, o si trasforma; la stabilità è una nostra illusione. Si volle scorgere anche in questo concetto generico la geniale anticipazione d'una dottrina modernissima: l'*evoluzionismo*.

Alla Scuola *Eleatica* (cioè di Elea, la *Velia* romana fondata nella Lucania da Greci provenienti dall'Asia Minore) appartiene *Senofane* di Colofone, vissuto fra il VI e il V secolo a. C. Egli aderì a Talete, per il principio dell'acqua; ad Anassimene, per quello della generazione spontanea; ad Anassimandro per l'origine dell'uomo.

Da lui poco differisce un altro filosofo della medesima scuola, *Parmenide*, il quale però ebbe dell'essenza dell'essere una concezione opposta a quella di Eraclito. Non la stabilità è un'illusione, come avea detto Eraclito, ma il divenire. Nel fondo di questo, superate le ingannevoli apparenze sensibili, noi dobbiamo scorgere l'*essere* che non diventa, l'*uno* che resta immutabile.

Pitagora scoperse, come vedemmo (§§ 5, 17), le prime leggi dell'acustica. Il suono nasce da vibrazioni dell'aria determinate dall'urto dei corpi sonori, e il suo variare si spiega per il variare delle onde sonore e della massa del corpo in vibrazione. Pitagora dimostrava inoltre, con esperimenti, la relazione esistente fra le note musicali e la lunghezza e tensione delle corde vibranti.

Empedocle di Agrigento riprende i quattro elementi, e li concepisce come non suscettibili di trasformazione. Determinano, con le loro varie combinazioni, il nascere e il dissolversi dei corpi; ma in ciò non sono mossi da una forza intrinseca, bensì da un fluido esteriore, che ha una funzione positiva, o di attrazione, e un'altra negativa o di repulsione. Le due forze che così si sprigionano nell'universo furono da Empedocle chiamate praticamente *Amore* e *Odio*. Ogni animale si sarebbe formato per l'aggregarsi delle sue parti, attratte dall'Amore.[1]

1. Due frammenti di Empedocle così dicono: « Allora sorsero dalla terra molte teste prive di collo, erravano qua e là nude braccia prive di spalle, e vagavano occhi privi di fronti ». — « Ma quando ancor più vennero ad azzuffarsi l'uno di contro l'altro (l'Amore e l'Odio), queste membra insieme si accozzavano nel modo nel quale esse s'incontravano, e molte altre continuamente sorsero ».

Digitized by Google

Anche *Platone*, nel dialogo *Il Timeo*, concepì il mondo sensibile come costituito dai quattro elementi. Erano disposti fra loro in proporzione geometrica; e il mondo è sferico, si rivolge su se stesso, senza moto di traslazione; è animato, ed è diviso in due sfere concentriche. Il mondo stesso è perenne, perchè, essendo fatto buono, com'è buono il suo Autore, questo, cioè Dio, non può volerlo disfare. Creato il mondo, Dio creò quattro specie di animali corrispondenti al fuoco (le stelle), all'aria (uccelli), all'acqua (le specie acquatiche), alla terra (le specie pedestri). Varî fenomeni sono da Platone spiegati per l'orrore che la natura ha del vuoto. La crescita dei corpi e la loro decadenza si spiegano col principio dell' attrazione del simile col simile. Così il corpo cresce o decade, a seconda che gli elementi di cui è costituito soverchiano quelli che entrano in esso per la nutrizione, o ne sono soverchiati.

Secondo *Aristotele* (§ 19), nei corpi agiscono, come forze elementari, in primo luogo il caldo e il freddo, secondariamente il secco e l'umido. Il nascere e il perire delle cose sublunari provengono dalle varie combinazioni di queste forze. Qui pure è la ragione sia del generarsi degli organismi, sia delle meteore.

Le osservazioni fatte da Aristotele circa gli animali, la loro struttura e la loro vita, sono così copiose che Plinio il vecchio, nella sua *Storia naturale* (§ 30), immaginò che i Sovrani di Macedonia mandassero in tutte le regioni a loro soggette persone incaricate di dar la caccia a ogni sorta di animali per inviarli al grande Stagirita.

Nelle indagini che pur fece Aristotele intorno alle piante, l'opera sua fu continuata dal discepolo *Teofrasto* di Lesbo. Analoghe ricerche, nel 1° secolo dell'era volgare, faceva *Dioscoride*, il creatore, com'è definito, della così detta « materia medica ».

Scoperte positive nel campo della Fisica devonsi, come già sappiamo (§ 6), ad *Archimede*, avendo formulato la teoria del centro di gravità e della leva, e stabiliti principî fondamentali d'idrostatica (§ 35).

Eone (§ 29) inventò varî apparecchi, fra cui la famosa *eolopila*, che gli valse la fama di primo costruttore di motori. La sua *Meccanica* è il più completo *Manuale* sulle macchine, che ci sia giunto dall'antichità; e molto notevoli sono i suoi esperimenti di pneumatica.

Infine ricorderemo, come fondatore della Meccanica, *Ctesibio* di Alessandria (III sec. a. C.), sebbene nulla dei suoi scritti ci sia rimasto. Accenniamo le sue principali invenzioni: l'orologio ad acqua; uno strumento di genere idraulico, consistente in una

Digitized by Google

specie di corno che, aprendo un rubinetto, emetteva un suono; una specie di pompa per l'acqua, e che forse serviva anche ad aspirare l'aria; tre macchine di guerra funzionanti per la compressione dell'aria. — *Filone*, pure di Alessandria, continuò praticamente, in questo campo, l'opera di Ctesibio.

§ 28. – L'ATOMISMO. Fra il V e il IV secolo a. C. visse *Democrito* di Abdera considerato, dopo Aristotele, il più grande scienziato dell'antichità. A lui, e prima a Leucippo che gli fu maestro, ma del quale quasi nulla ci è pervenuto, devesi quella dottrina fisico-chimica che si disse *atomismo*, e per la quale si disegnava una concezione prettamente meccanica e materialistica della natura.

Non più i quattro elementi formano l'universo, ma particelle minutissime invisibili e indivisibili, ossia gli *atomi*, varî di grandezza, figura e peso, ma sostanzialmente identici. Questi atomi compongono la materia compatta, cioè il *pieno*; e i corpi risultano dal loro aggrupparsi in virtù del movimento di cui sono dotati. È questo più o meno rapido a seconda del loro peso, e avviene nel *vuoto*.

Urtandosi fra loro gli atomi determinano delle oscillazioni che si diffondono e allargano (come in una superficie d'acqua le ondulazioni prodotte da un sasso che vi si getti dentro). Le sensazioni nascono così, o meglio per tali effluvi di atomi che partendo dai corpi impressionano i nostri organi di senso. La sensazione altro non è in se stessa che oscillazione, vibrazione, movimento. [1]

Tutto è dovuto agli atomi e al loro moto. Di atomi è composta anche l'anima.

Degli scritti di Democrito sono rimasti solo alcuni frammenti, ma la sua dottrina ci è nota specialmente attraverso Epicuro.

Epicuro di Samo (IV sec.) espose infatti e adottò la dottrina democritea; ed è famosa la scuola da lui fondata in Atene.

Anche per Epicuro adunque tutto risulta dal movimento degli atomi. Gli dei stessi sono composti di atomi (più fini). Vivono fra l'uno e l'altro dei mondi infiniti che popolano lo spazio, e sarebbe stoltezza temerli perchè, nella loro beatitudine, non si occupano affatto di noi. Neppure è ragionevole che si tema la morte, perché l'anima, composta pure di atomi (più mobili degli altri, e rotondi) muore con il corpo.

---

1. Importante è per la *relatività* della sensazione (o il suo carattere soggettivo) questo passo di Democrito: « Sono semplici opinioni il dolore, l'amaro, il caldo, il freddo, il colore. Di realmente esistente non vi sono che gli atomi e il vuoto ».

Digitized by Google

La dottrina di Epicuro non differisce da quella di Democrito se non in quanto egli vi aggiungeva un nuovo concetto: la *declinatio*. Imaginava che gli atomi nel loro movimento, che sarebbe rettilineo, deviassero per la loro stessa potenza e spontaneità: i fenomeni si originano in conseguenza di tale deviazione, e dell'urto che ne risulta.

L'atomismo non ebbe veramente grande fortuna, ma alla sua larga diffusione contribuì molto *T. Lucrezio Caro* (del I sec. a. C.) con la celebre opera *De rerum natura*, in sei libri, — uno dei migliori poemi didascalici della letteratura universale. La dottrina epicurea vi è esposta mirabilmente, con numerose brillanti digressioni. Epicuro vi figura come l'inventore della vera scienza, e gli è attribuito a grande merito l'aver liberata l'umanità dal terrore religioso.

§ 29. – L'ottica. All'ottica geometrica i Greci attesero con particolare cura, avendo riconosciuto quanto essa importi all'uso di strumenti per misurare angoli, distanze, ecc. [1]

Due principî fondamentali vigevano: 1° il raggio si propaga in linea retta; 2° nella visione il raggio non parte dall'oggetto ma dall'occhio. — Ad essi si attenne *Euclide* (§ 6) nella sua *Ottica;* e riguardando il cono di raggi visivi compreso in un corpo veduto, studiò i varî effetti ottici risultanti, come la grandezza apparente di oggetti situati a differenti distanze, le deformazioni delle figure, ecc. Egli sviluppava pure l'ipotesi che la luce non emani dall'oggetto veduto ma dall'occhio.

Allo stesso Euclide fu attribuita, pare erroneamente, la *Catotrica* nella quale, prese a base le leggi della riflessione, si studiano le immagini degli specchi. Ai Greci era noto che l'angolo d'incidenza è uguale a quello di riflessione. [2]

Autore di una *Diottrica* fu anche *Eone* (§ 27). Riusciva assai interessante per la stranezza degli effetti che si ottenevano mediante gli specchi.

---

1. Sembra pure che i Greci si servissero largamente dei telegrafi ottici. In un passo dello storico *Polibio* (II sec. a. C.) si espone un sistema di telegrafia ottica al quale si crede abbia contribuito egli stesso.

2. Fra le premesse della *Catotrica* c'era questa: « Se si pone un oggetto qualunque al fondo di un vaso e si allontana il vaso stesso dall'occhio fino a che l'oggetto più non si vede, questo ridiventa visibile a quella medesima distanza se si versa acqua nel vaso ».

Digitized by Google

Molto nota e usata nel medio evo fu l'*Ottica* di Tolomeo (§ 21), ricordata spesso anche da *Ruggero Bacone* (§ 30). Vi si trattano soggetti molto importanti per la Fisica sperimentale.

Contrariamente ad Euclide, Tolomeo ammette che i raggi luminosi partendo dall'occhio — così si riteneva tuttora — e giungendo all'oggetto, servano a dare anche il senso della distanza di questo (posto che essa non sia troppo grande). L' occhio *sente* pure se la superficie dell'oggetto è concava o convessa.

Tolomeo stabilì inoltre varî principî fondamentali circa gli specchi, servendosi di uno strumento speciale atto a misurare gli angoli di rifrazione. Studiò infine accuratamente anche il fenomeno della rifrazione astronomica.

§ 30. – I Romani. - Il medio evo.

Come già vedemmo per la matematica, così per le scienze fisiche e naturali i Romani svolsero una particolare attività in lavori di compilazione (Enciclopedia) e di commento. Si dice che *Plinio il vecchio* (§§ 3, 27) per scrivere la famosa *Naturalis Historia*, in 37 libri, pubblicata l'anno 77 d. C., consultasse ben 2000 volumi, e prendesse in esame all'incirca 20.000 soggetti diversi, relativi a tutti i rami della scienza naturale. Egli così — e anche per qualche sua personale osservazione — rendeva alla cultura medioevale un servizio cospicuo.

Nell'età di mezzo la più importante figura di scienziato è indubbiamente *Ruggero Bacone*, francescano, *doctor mirabilis* (secolo XIII). Dotto egli fu specialmente nelle scienze fisiche e astronomiche; e poichè si manifestò ribelle ai pregiudizi del tempo, passò per « stregone » e subì persecuzioni accanite.

Ruggero Bacone sostenne coraggiosamente il principio fondamentale della Fisica aristotelica, che solo l'esperienza ci può fornire un sapere sicuro, ed esaltò la matematica come quella da cui abbiamo *vere dimostrazioni*. Inoltre coltivò l'Ottica e la prospettiva, ed ebbe intuizioni che accennano alle invenzioni moderne dei sottomarini e degli aeroplani. [1]

1. A proposito della scienza della navigazione è opportuno ricordare che, come fu dimostrato, mai esistette quel *Flavio Gioia* a cui venne attribuita l'invenzione della bussola. — Del resto le proprietà magnetiche del ferro erano già note anticamente ai Cinesi, dai quali pare che gli Europei le abbiano apprese.

Digitized by Google

§ 31. – L'ALCHIMIA. Come l'astrologia (§ 21), la magia e in generale le così dette scienze occulte, così l'alchimia devesi in origine a quella corrente mistica che al dissolversi della filosofia pagana invase gli animi, soffocando la visione scientifica della realtà. Il Neopitagorismo e il Neoplatonismo segnavano questo trapasso al misticismo. Ma l'alchimia avea anche ragioni pratiche.

L'industria chimica risale, in un certo senso, ai primordî dell'umanità, poichè fin d'allora si usarono, per i bisogni della vita, varî elementi naturali, per es. il fuoco e i metalli. Allargandosi l'esperienza, essa andava naturalmente conquistando terreno. Si ebbero così dei ricettari pratici, tenuti gelosamente segreti (anche per il guadagno che fruttavano). Si riferivano soprattutto all'arte medica *(iatrochimica)*, ma valevano anche ad abbindolare i gonzi.

In ciò consisteva originariamente la chimica; era insomma un'arte, e si esercitava specialmente lavorando metalli, pietre preziose, ecc. La troviamo con simile carattere, come dicevamo, presso gli Egiziani (§ 2), per i quali infatti la tecnica si fondeva con il misticismo, e fra gli Arabi (§§ 4, 10). Dall'Oriente passò ai Romani, pare dopo il 3° secolo di Cristo; ed ebbe in seguito cultori rinomati come *Geber*, arabo, del secolo VIII, *Rhazes* e *Avicenna*. In Occidente coltivarono l'alchimia *Alberto Magno*, *Ruggero Bacone* (§ 30), *Raimondo Lullo*, *Arnaud de Villeneuve*, *Giorgio Ripley*, *Basilio Valentino*. Caratteristica di quest'arte era la *trasformazione dei metalli*.

Essendosi osservato che certe sostanze sotto l'azione del fuoco, dell'acqua, dell'aria, o per l'azione dell'una sull'altra, mutavano, e sussistendo la lavorazione dei metalli, si studiò l'arte con la quale trasmutare i metalli ignobili in metalli nobili (oro e argento). A questo scopo si ricorse a varî preparati come il *Grande Elisir* o *Magisterium* o *Pietra filosofale*.

Nei secoli XIV, XV e XVI la virtù della pietra filosofale fu in certo modo oggetto di considerazione religiosa.

L'alchimia prese anche il nome di *Scienza ermetica* perchè i primi scritti che ne trattavano si attribuirono ad *Ermete* detto *Trimagisto* (ossia tre volte grandissimo), personaggio leggendario.

§ 32. – LA RINASCENZA. Un nuovo impulso ebbe la scienza, e come l'astronomia così la fisica, dal metodo induttivo e sperimentale, di cui diremo a parte più oltre (Cap. IX).

Leonardo da Vinci (§ 12), che fu tra i primi a propugnare questo metodo, formulò principî di idraulica, di chimica (relati-

Digitized by Google

vamente ai colori), di meccanica, nella quale fece applicazioni matematiche, e infine di ottica. Per es. egli considerò l'interno dell'occhio come una *camera oscura* fotografica. Studiò inoltre il volo degli uccelli, immaginando persino un apparecchio di aviazione; scoperse i fenomeni di capillarità; costruì varî meccanismi e strumenti.

Di altri scienziati del Rinascimento dovremmo far menzione, e ad es. di *Francesco Maurolico*, messinese, che nel secolo XVI attese con fortuna agli studi di ottica; ma chi deve ancora una volta (nè sarà l'ultima) attrarre la nostra attenzione è *Galileo*. Anche la Fisica, al pari dell'Astronomia (§ 24), deve infatti a lui un avviamento originale e sistematico.

È ben noto com'egli, osservando i movimenti d'una lampada appesa nel Duomo di Pisa, scoprisse nel 1583 l'isocronismo delle oscillazioni del pendolo, e ne determinasse le leggi. Le applicò subito alla misura del tempo; inoltre costruì un apparecchio, adottato dai medici, per constatare il polso *(pulsilogia)*.

Seguendo le orme di Archimede, Galileo integrò con osservazioni proprie le proposizioni baricentriche già enunciate dal grande siracusano (§§ 6, 13). Ripreso poi il problema della corona, inventò lo strumento oggi detto *bilancia idrostatica*, e da lui chiamato *bilancetta*. A Pisa compì le famose esperienze sulla caduta dei gravi, concludendo contro la Fisica aristotelica, secondo la quale si credeva che i corpi nel cadere acquistassero una velocità proporzionale al loro peso. L'esperimento che Galileo faceva sulla torre pendente di Pisa, lasciando cadere due palle di piombo, l'una del peso d'una libbra, e l'altra di 100 libbre, dimostrava che tutti i corpi cadono con la medesima velocità, indipendentemente dal peso (§ 59).

A Galileo si attribuisce pure l'invenzione del termometro ad aria; e oltre al telescopio egli inventava il microscopio. Dimostrò, contro la dottrina tolemaica, che l'aria è pesante al pari d'ogni altro corpo; misurò la velocità con cui il suono si propaga; studiò i fenomeni magnetici, e costruì calamite potentissime.

Galileo infine determinò precisamente la legge d'inerzia. Questa era stata già formulata da Keplero, il quale infatti avea osservato che un corpo non può da sè passare dallo stato di quiete al movimento. Galileo la espresse nei seguenti termini: Un corpo non può mutare da sè il proprio movimento, nè può dal moto passare da solo alla quiete. Il movimento avviene per cause esterne, così che, se queste fossero eliminate, esso proseguirebbe indefinitamente conservando la velocità raggiunta.

Digitized by Google

Importantissima è pure la teoria di Galileo sulla soggettività delle qualità sensibili. Colore, suono, sapore, ecc. non sono nelle cose ma soltanto in noi, come reazioni dei nostri organi di senso all'azione che essi subiscono dalle cose.

Anche *Newton* dev'essere qui nuovamente ricordato (§§ 13, 25). Già all'inizio del suo insegnamento universitario egli inventava il telescopio a riflessione; scopriva inoltre la decomposizione della luce bianca nei suoi elementi variamente colorati. Pur attenendosi alla Fisica di *Renato Cartesio (Des Cartes)*, ne corresse alcune vedute speciali; completò ed estese i concetti di *forza* e di *massa;* enunciò la terza legge della meccanica; [1] fece importanti scoperte sui fenomeni luminosi e anche elettrici.

Cartesio (§§ 5, 12, 25) procedendo per deduzione cioè da principî — metodo, come vedremo, a lui caratteristico (§ 54) — ne trasse conseguenze pur relative alla filosofia naturale. Erano principî le proprietà primarie della materia (estensione, mobilità, dirigibilità) ch'egli distinse, come già Galileo, da quelle secondarie. Enumeriamo fra esse le seguenti: Non ci possono essere atomi assoluti, essendo impossibile stabilire limiti alla divisione. Non ci può essere spazio vuoto, perchè l'estensione presuppone la materia. Il mondo materiale è infinito perchè non possiamo imporre limiti all'estensione, e perchè è logico che dove c'è questa ci sia anche la materia.

La somma del movimento (cioè dell'energia) che derivò dalla creazione rimane, secondo Cartesio, costante. Nessun movimento può prodursi *ex novo*, o andar perduto.

Anche Cartesio, forse sotto l'influsso di Keplero, ammetteva la legge d'inerzia.

L'Universo qual è attualmente si spiega immaginando che le parti della materia si muovono fino dall'origine intorno a determinati centri, con moto vorticoso. In questi centri le parti più piccole nate dall'attrito delle parti maggiori si raccolsero, dando luogo a corpi di varia grandezza. I maggiori di questi trascinarono nel vortice i minori, e tale fu la sorte anche della Terra, rimasta poi immobile.

Così Cartesio dava del mondo una spiegazione meccanica; nè con criterio diverso egli considerò la fisiologia. Accolse infatti, fra l'altro, la scoperta di *Harwey* (1628) intorno alla circolazione

1. È la legge seguente: « L'azione di un corpo sopra un altro è uguale all'azione che esso subisce da questo, ma le due forze agiscono in senso opposto ».

Digitized by Google

del sangue, il movimento del quale non fu quindi attribuito ancora a forze mistiche, come sarebbe quella dell'anima, ma alla contrazione del cuore. Il nostro corpo, secondo Cartesio, è una macchina nella quale funzionano gli « spiriti animali ». Operando questi sulla glandola pineale (nel cervello), e provocando in tal modo l'anima che vi ha la sua sede, determinano le sensazioni.

Cartesio, nello scritto *Diottrica*, tentò una teoria della luce. Suppose che dai corpi luminosi emanino all'intorno molte particelle *non elastiche*, velocissime e distinte le une dalle altre. Urtando contro un corpo opaco queste particelle rimbalzano secondo le leggi dell'urto, le quali sono le medesime che quelle della riflessione. Scrisse inoltre due trattati, uno sulle *Meteore* e l'altro di *Geometria*, di cui già dicemmo (§ 12).

Con Galileo non tramontava la sua scuola, rifiorita per l'opera di numerosi discepoli forti della vigorosa tradizione che da lui prendeva il nome e la gloria. S'istituirono infatti più Società scientifiche come, nel 1657, l'*Accademia del Cimento* a Firenze, e poco dopo in Francia, l'*Académie des sciences*, e la *Royal Society* in Inghilterra.

Si poterono pertanto compiere importanti innovazioni nei termometri. *Evangelista Torricelli* (1608-1647) inventava il barometro (a cui si aggiunsero l'igrometro e il pluviometro); *Ottone di Guericke* di Magdeburgo, autore d'importanti esperienze, inventava la macchina pneumatica;[1] *Roberto Boyle* inventava il baroscopio, adoperato anche oggi a misurare i gas industriali; *Francesco Maria Grimaldi* apportò innovazioni nella teoria della luce; *Cristiano Huyghens* contrappose, alla teoria dell'emissione di correnti di corpuscoli da parte dei corpi luminosi, la teoria delle *ondulazioni* (analoghe a quelle dell'aria onde si ha il suono). — Scrisse inoltre un'opera intorno all'urto, e ci diede una teoria esatta del pendolo composto.

§ 33. – Nell'età moderna, dal secolo XVIII.

A) Fisica. — Non molto ricco di risultati, nel campo degli studi sperimentali, fu il tempo successivo a Galielo, Newton, Cartesio. Non mancarono tuttavia conquiste notevoli, e per es. nella prima metà del secolo XVIII i termometri si perfezionarono ulteriormente per opera di *R. A. Ferchault de*

1. Un'importanza singolare acquistò, in quest'epoca, la teoria del *vuoto*, di cui, secondo un'antica dottrina platonica e aristotelica già accennata, la natura ha orrore. Particolari esperienze dimostrarono che questo principio non era che un prodotto della fantasia. Le medesime ricerche sul vuoto condussero alla scoperta della così detta *legge di Mariotte* o *Boyle* sulla compressibilità dei gas.

Digitized by Google

Réamur, *G. D. Fahrenheit*, *A. Celsius*,[1] i cui nomi sono legati a tre scale termometriche ancora in uso.[2]

Studi notevolissimi intorno al calore fecero in quest'epoca, fra gli altri, il *Lavoisier* (§ 33-*B*) e il *Laplace* (§ 25). I problemi del l'acustica furono molto utilmente studiati da *Daniele Bernouilli*, *Eulero* (§ 14) e *Lagrange* (§ 14).

Scoperte importanti conta la storia della Fisica nel secolo XVIII, specialmente in relazione alla Meccanica.

Già varie macchine, da impiegare a servizio delle miniere, erano state costruite fino dall'epoca della Rinascenza; ma la macchina che meglio servì a trarre l'acqua dalle miniere inglesi fu inventata, in seguito ad altri meno felici tentativi, da *Tomaso Savery* (1699).

Più tardi *Giacomo Watt* (1736-1819) utilizzando idee espresse da *Erone* Alessandrino (§§ 7, 20), circa l'impiego del vapor acqueo, come forza motrice, costruiva la macchina a vapore alla quale dava il proprio nome. Nel 1780 *Oliviero Evans* costruiva la macchina a vapore ad alta pressione, e si fecero prove varie di locomozione terrestre e fluviale con mezzi ancora rozzi. Finalmente nel 1829 *Giorgio Stephenson* costruiva la vera e propria locomotiva, che funzionò nel primo tronco ferroviario Liverpool-Manchester.

Di nuovi e potentissimi mezzi di locomozione la nostra civiltà si arricchiva con l'invenzione dei motori a scoppio; e valgano come esempio gli aeroplani (di cui i primi esperimenti rimontano al 1891, avendo poi acquistato sicurezza per l'opera dei fratelli *Wright*, americani[3]), i dirigibili, l'autoscafo, l'automobile.

Al secolo XVIII spetta la gloria di aver dato vita scientifica all'elettricità. Conviene però, a questo proposito, rifarci un po' addietro, e risalire al medico e scienziato inglese *Guglielmo Gilbert* (1540-1603).

Si sapeva che le aste di ferro verticali poste negli edifizi presentano il fenomeno della polarità magnetica. Il Gilbert pensò che

---

1. Ad *Andrea Celsius*, svedese, e a *Märten Stromer*, della medesima nazionalità, dobbiamo il termometro centigrado che oggi usiamo.

2. Così usiamo l'apparecchio di *Atwood* (della 2ª metà del secolo scorso) per lo studio della caduta dei gravi.

L'ab. *G. B. Guglielmini* comprovò ancora una volta la teoria copernicana, a Bologna, dimostrando che i corpi cadenti dall'alto deviano verso oriente. Ciò risultava da un esperimento da lui compiuto dalla *Torre degli Asinelli* di Bologna.

3. Già ricordammo che *Leonardo* avea pure iniziato ricerche circa il problema del volo (§ 32). Sono poi notevoli gli espedienti che nel secolo XVIII il *Meunier* concepiva per rendere stabile e dirigibile un veicolo più leggiero dell'aria; e *G. M. Mongolfier* compiva già nel 1783, nelle vicinanze di Parigi, la prima ascensione in un aerostato da lui inventato, col relativo paracadute.

Digitized by Google

questo fenomeno si dovesse alla Terra, ch'egli concepiva pertanto come una grande calamita. Questo concetto egli controllava e confermava poi mediante esperimenti.

Costruì una calamita a forma sferica, vi avvicinò un ago magnetico sospeso a un filo, facendolo muovere dall'equatore (della sfera) verso i poli, e constatò che in questa direzione (dall'equatore al polo) l'inclinazione dell'ago aumentava. Il Gilbert tuttavia comprese che essendo la superficie terrestre irregolare, e non avendo l'acqua una capacità magnetica, la immaginata perfetta analogia fra la Terra e la sua sfera veniva a mancare. Attese poi a studiare con grandi cautele le sbarre di ferro disposte nella direzione del meridiano magnetico (o dell'inclinazione dell' ago), e fece con esse altri esperimenti. Ritrovò pure che spezzando una calamita si ottengono più calamite.

Altre ricerche sono esposte nella celebre opera del Gilbert *De Magnete magneticisque corporibus et de magno magnete tellure* (Londra, 1600). Vi si tratta delle varie sostanze elettrizzabili, ossia dei corpi *idroelettrici*, e si notano le condizioni nelle quali l'elettrizzazione avviene, per es. l'attrito (mentre l'umidità dell'aria è una circostanza negativa); i metalli rimanevano esclusi. Al Gilbert dobbiamo inoltre il primo elettroscopio perfezionato poi dall'*Haüy*. Egli immaginò infine, come un secolo più tardi il Boyle, che l'elettricità — nome da lui usato per la prima volta — consistesse in un effluvio dei corpi.

L'idea del Gilbert, che la terra fosse una grande calamita, fu ripresa, sul finire del secolo XVII, da *Edmondo Halley*, il quale, avendo solcato a scopo di studio gli Oceani Atlantico e Pacifico, compose la prima grande carta terrestre nella quale figurano congiunti i punti di *declinazione* eguale.

Il *Boyle*, or ora citato (§ 32), compì, fra gli altri noti studi, anche ricerche sull'elettricità, la cui azione egli dimostrava svolgersi nel vuoto.

L'*Hauksbee* identificò la natura dell'elettricità a quella della luce; e intuizioni geniali ebbe, intorno alle forze elettriche, anche il Newton.

Ma il secolo più fecondo di scoperte, come ripetiamo, fu il XVIII. Limitandoci a pochi cenni rileveremo che importanti studi si fecero intorno ai corpi conduttori e isolanti, e agli effetti varî dell'elettricità (termici, meccanici, luminosi). Rimonta a quest'epoca la costruzione delle prime macchine elettriche.

Digitized by Google

Meritano d'essere specialmente ricordati *Du Fay*, *Gurdon*, *Gray*, *Kleist*, *Musschenbroeck*. Quest'ultimo inventava la famosa bottiglia di Leyda (sua città natale); e *Beniamino Franklin*, di Boston, inventava il parafulmine (1753). [1] Però il primo vanto delle più memorabili scoperte nel campo dell'elettricità spetta agli Italiani; tradizione che continua tuttora emergendo gloriosamente nel nome di *Guglielmo Marconi*.

Sono note le esperienze del *Galvani*, il quale, pur errando nell'ammettere una elettricità animale, concorse tuttavia, con questo suo errore, ad avviare le indagini mirabilissime di *Alessandro Volta* (1745-1827). Questi inventò, fra l'altro, l'elettroscopio condensatore, la pistola elettrica, la pila con due metalli (che reca il suo nome), — onde si eliminava l'idea dell'elettricità animale. La pila di Volta superava la bottiglia di Leyda potendo emettere scariche elettriche continue.[2]

B) Chimica. — Nei secolo XVII l'alchimia chiudeva il suo ciclo per lasciare il posto alla Chimica vera e propria, anch'essa avviata, con la Fisica, secondo il metodo sperimentale; e il Galilei a così dire, di questa scienza, fu un celebre fisico da noi già ricordato (§§ 32, 33-*A*): il *Boyle*. Con l'opera *Il Chimico scettico* egli infatti segnava alla chimica un nuovo indirizzo.

Il Boyle negò che gli elementi dei corpi fossero quei pochissimi che fino allora si ammettevano (zolfo, mercurio, sale), dalla cui somma i varî corpi deriverebbero; distinse tra *miscuglio* e *combinazione chimica;* promosse il metodo dell'analisi che tanto vantaggio dovea portare (nel duplice rispetto qualitativo e quantitativo) anche alle industrie.

L'acqua si riteneva tuttavia un corpo semplice. L'analisi del *Cavendish* dimostrava ch'è invece composta d'idrogeno e d'ossigeno; e il *Priestley* trovava l'ossigeno dell'aria.

Si credeva pure che la combustione fosse dovuta a una sostanza detta *flogisto*. Tale era la teoria di *Giorgio Ernesto Stahl*, professata sino verso la fine del secolo XVIII. *Antonio Lorenzo Lavoisier* (1743-1794), valendosi delle scoperte del Priestley e del Cavendish, dimostrò per contro che la combustione dipende dal

---

1. Alla scoperta del parafulmine il Franklin giunse così: Mentre prima si credeva che il fulmine fosse uno scoppio di gas esplodenti, il Franklin lo considerò un fluido elettrico; quindi pensò che, come accade per il fluido elettrico nella bottiglia di Leyda, il fulmine dovesse essere attratto dai corpi acuminati.

2. Se, come aveva pensato il Franklin, la gravitazione è una legge *universale*, dovea pur applicarsi all'elettricità. Infatti il *Coulomb* formulò questa legge: « L'attrazione (o la repulsione) fra due cariche elettriche possedute da due sfere conduttrici, è direttamente proporzionale al prodotto delle cariche, e inversamente proporzionale al quadrato della distanza fra i centri delle due sfere ».

Digitized by Google

combinarsi dell'ossigeno dell'aria con la materia combustibile. Egli fece altre notevoli scoperte circa la natura dei corpi e i loro processi; e con lui s'iniziava la nomenclatura chimica per mezzo dei componenti. Infine molto deve allo stesso Lavoisier il principio che nulla si crea e nulla si distrugge, ossia della *conservazione* o *trasformazione della materia*, di cui trovammo l'intuizione presso i Greci (§ 27). Per esso si diffuse l'uso di determinare i rapporti quantitativi delle sostanze chimiche per mezzo della bilancia.

Un nuovo momento della storia della Chimica è rappresentato dalla *teoria atomica*, con la quale parve rivivere lo spirito di Democrito (§ 28). Accenni varî di essa s'incontrano anche prima che comparisse il *Nuovo sistema di filosofia chimica* (1808) di *Giovanni Dalton;* ma al Dalton la teoria stessa deve la sua precisa determinazione ed illustrazione sperimentale. I corpi sono tutti costituiti di atomi di differente peso e dimensione, variamente combinati. Così si spiegava la legge delle *proporzioni definite* (cioè che ogni corpo è composto invariabilmente dei medesimi elementi uniti in proporzioni identiche), e le altre due leggi delle *propozioni multiple* e *reciproche.*

La teoria atomica spingeva a nuovi studi e conduceva a nuove scoperte, soprattutto per avere *Amedeo Avogadro*, nel 1813, introdotto, accanto al concetto di atomo, quello di *molecola*, con funzione diversa. L'atomo sarebbe una particella di materia che nelle reazioni *chimiche* rimane indivisibile; la molecola è un'associazione di atomi in cui ravvisiamo l'ultima particella *fisica* della materia.

Stanislao Cannizzaro (1826-1910) sviluppava questa teoria con applicazioni teoriche e pratiche; e molti altri illustri chimici italiani e stranieri hanno poi collaborato all'incremento della chimica anche per questo rispetto.

Una innovazione radicale subiva la teoria atomica per la scoperta della *radioattività.*

Enrico Becquerel trovava, nel 1896, che i sali d'uranio emettevano una radiazione che poi si riconobbe propria anche ad altre sostanze; e la signora *Curie* scopriva il *radio* come prodotto dell'uranio.

Gli elementi della materia sono dunque, come pensavano (sia pure fantasticando) gli Alchimisti, trasformabili. L'atomo poi non è indivisibile, ma risulta di *elettroni* o corpuscoli minori capaci di forme nuove e svariate.

La radioattività si deve a questi elettroni, i quali così costituirebbero gli ultimi elementi della materia.

Digitized by Google

Ricchissima infine per sè e per le sue applicazioni è la teoria dei raggi *Röntgen*, che s'illumina dei nomi insigni d'Italiani, come il Roiti, il Righi, il Battelli, ecc.

Feconde di risultati furono le applicazioni dell'elettricità alla chimica, specialmente mediante l'*elettrolisi;* e parimenti apportarono molti frutti le altre applicazioni delle varie scienze alla chimica stessa, per es. quelle della fisica.

Un ramo importante della nuova chimica è infine quello detto *biochimica*, che appartiene alla chimica organica. Già nella prima metà del secolo XIX si pensò di determinare quale differenza esista fra le sostanze organiche e quelle inorganiche, perchè non pareva che essa trovasse luce nel concetto primitivo di « forza vitale ». Studi più recenti fecero riconoscere che le proprietà di una qualunque sostanza non dipendono dalla composizione atomica, ma dalla *disposizione degli atomi nella molecola.* I prodotti organici pertanto risultano dagli elementi chimici inorganici (ossigeno, idrogeno, carbonio, azoto, fosforo); e il loro carattere, di organici, si deve al diverso modo di aggrupparsi degli atomi.

CAPITOLO VI.

La Geografia.

§ 34. – La geografia dei Greci e dei Romani. *A*) Come abbiamo già notato, i popoli delle antiche civiltà isolate, come Cinesi, Indiani, Babilonesi ed Egiziani, Peruviani, Messicani e, da principio, gli stessi Greci, si credettero al centro dell'Universo, e concepirono la Terra piatta e poco estesa intorno alle loro sedi (§§ 15, 16). I Greci, e poi gli altri popoli della civiltà occidentale, corressero a poco a poco o abbandonarono queste idee, per lo sviluppo che andava assumendo la scienza e l'estendersi delle loro cognizioni geografiche. Il concetto di « scoperta geografica » è per ciò relativo a una determinata cerchia di civiltà.

Noi dobbiamo partire dalla civiltà circummediterranea, e vedere come lentamente e faticosamente si sia arrivati a conoscere tutto il globo, e a costituire la scienza geografica.

Dagli antichi Greci la Terra si concepiva piatta e galleggiante nell'acqua; poi si pensò che fosse come un'isola circondata dal-

Digitized by Google

l'Oceano. Con questo comunica il Mediterraneo, attraverso le colonne d'Ercole. Il Mar Rosso e, per un certo tempo, il Caspio sono golfi dell'Oceano stesso. L'Atlantico non è navigabile, ed è popolato di mostri.

Sino alle conquiste di Alessandro, che allargarono il ristretto orizzonte geografico dei Greci, questi non conobbero che le terre circummediterranee, tanto che Erodoto riteneva l'Europa più grande dell'Asia. Invece i Fenici e i Cartaginesi aveano spinto le loro esplorazioni alquanto fuori del Mediterraneo (viaggi di Annone e di Imilcone), e le rovine scoperte nell'Africa australe a mezzodì dello Zambese provano che i Fenici vi ebbero relazioni commerciali, quantunque sembri poco credibile la circumnavigazione dell'Africa che avrebbero compiuta per ordine di Neco re d'Egitto verso il 600 a. C.

La prima carta della Terra viene attribuita ad Anassimandro (§§ 16, 27), e in generale ai filosofi ionici. Le carte geografiche si costruivano in metallo ed erano piatte e rotonde. Come centro della Terra abitata era posta la Grecia, e forse, più precisamente, Delfo. Figuravano l'Europa e l'Asia; più tardi si aggiunse la Libia (Africa).

Nuove configurazioni geografiche, con nuovi problemi, derivarono dalla convinzione che i filosofi greci dell'Italia meridionale (Pitagorici ed Eleatici) si erano formata della sfericità della Terra; e si deve a *Pitagora* (§§ 5, 17) la divisione di questa in cinque zone, fondata sul moto annuo apparente del Sole, che gli antichi poterono studiare per mezzo dei gnomoni. Esse nei due emisferi si succedevano secondo quest'ordine rimasto tuttora: *glaciale, temperata, torrida, temperata, glaciale.* Per *Parmenide* (§ 27) e per altri dopo di lui, la torrida era inabitabile per il calore.

La sfericità della Terra, una volta ammessa, imponeva altri problemi, come: 1° La configurazione della sua superficie, cioè l'esistenza più o meno di altri continenti oltre a quello conosciuto (questione degli antipodi); 2° La grandezza del globo terrestre, per determinare la quale sarebbe bastato conoscere il valore dell'arco (di meridiano) di un grado. Il primo a tentare di misurare l'arco di meridiano pare sia stato il pitagorico *Archita* (§ 5).

Un terzo problema dipendente dalla riconosciuta forma della Terra era quello della estensione e relativa distribuzione delle terre e dei mari; e principalmente si chiedeva se questi formavano un oceano unico o non piuttosto tanti bacini marittimi disgiunti da terre interposte: questione che non fu risolta positivamente se non nei tempi moderni, con le grandi scoperte geografiche.

Digitized by Google

Nella sua storia *Erodoto* (484-424 a. C.) ci ha lasciato le cognizioni geografiche alle quali egli largamente contribuì con i suoi viaggi nell'Egitto, nei paesi del Mediterraneo orientale e del Mar Nero (Ponto). Riconobbe il Caspio come un bacino chiuso, e diede notizie dell'Asia più lontana.

Le conquiste di Alessandro il Grande, che, per essere stato scolaro di Aristotele, diede anche impulso a osservazioni ed esplorazioni scientifiche nell'Asia anteriore e fino in India, allargarono l'orizzonte geografico dei Greci e suscitarono molteplici iniziative.

All'epoca di Alessandro *Pitea* di Marsiglia esplorava le coste atlantiche dell'Europa settentrionale e riconosceva per primo l'equivalenza della latitudine all'altezza del polo. Nel suo libro sull'Oceano egli trattò delle maree riconoscendone la relazione con le posizioni della Luna. Dalle Orcadi si spinse a nord fino alla Thule (probabilmente l'Islanda), e, per le notizie che recò, Pitea si può chiamare il primo esploratore polare.

Così nuovo materiale d'osservazione giungeva in Grecia da più parti, e se nelle opere naturalistiche di Aristotele la geografia non ha ancora il carattere di scienza autonoma, tuttavia soggetti cosmografici e geografici sono trattati nella sua *Meteorologia* (§ 19, 27), e anche nel libro sull'inondazione del Nilo che, secondo recenti conclusioni, apparterebbe pure ad Aristotele.

Scolaro di Aristotele fu *Dicearco* di Messana (350-320 a. C.), naturalista e geografo, che si può considerare il primo rappresentante della rinnovata geografia ellenica, nel periodo espansivo di questa civiltà. Troppo poco ci rimane di lui. È verosimile che egli abbia misurato l'arco di meridiano tra Lisimachia sull'Ellesponto e Siene nell'alto Egitto. Egli tracciò la carta della Terra conosciuta o abitabile con due linee che noi diremmo il parallelo e il meridiano principali; ossia divise la Terra in due parti eguali, nel senso della lunghezza e della larghezza. Nel senso della lunghezza dalle colonne d'Ercole si passava per lo stretto di Messina, si giungeva al Peloponneso e alla costa meridionale dell'Asia minore, e si arrivava alle foci del Gange. Nel senso della larghezza da Siene (l'attuale Assuan) si andava a Lisimachia, città della Tracia, all'estremità settentrionale del Chersoneso. Dicearco diede anche la misura presumibile delle due linee. Determinò infine l'altezza di alcuni monti, quali il Pelio, l'Olimpo, l'Acrocorinto e altri.

Maggiore importanza spetta nella storia della Geografia ad *Eratostene* (§§ 7, 20), ritenuto il più grande geografo dell'antichità. Anch'egli si propose, come Dicearco, il problema della misura del

Digitized by Google

globo terrestre, ed eseguì calcoli ingegnosissimi valendosi di un gnomone perfezionato. Oltre ad aver trattato un problema di matematica astronomica, e a una Memoria sulla misura della terra, a lui risultata assai prossima a quella moderna (250.000 stadî pari a 39.700 km.), Eratostene scrisse un'opera in tre libri, di cui non rimangono che pochi frammenti, e che tuttavia conosciamo per essere stata discussa, come diciamo più innanzi, da Strabone. Vi tratta di geografia fisica e matematica, e nel libro III descrive le varie regioni.

La carta di Eratostene fu ricostruita, alla fine del secolo XVIII, basandosi sui dati che ci sono rimasti, ed è forse la prima ricostruzione dell'antica carta greca.[1]

Circa alla metà del II secolo a. C., insegnava a Pergamo il grammatico *Cratete* di Mallo (in Cilicia), che dall'esegesi dei poemi omerici (viaggi di Menelao e di Ulisse) passò a trattare di geografia, e costruì il primo globo di cui ci sia rimasta notizia, secondo una concezione che pare derivi dai Pitagorici: una zona di oceano equatoriale s'incrociava con una zona meridiana rappresentante l'Atlantico; fra queste due zone di mare erano quattro continenti insulari simmetricamente disposti, dei quali uno solo era noto.

Trattò la geografia nel suo rispetto matematico anche *Ipparco* (§§ 7, 18, 2). Egli fissò la posizione di un ente geografico adottando la divisione sistematica della Terra in paralleli e meridiani, e riportando le coordinate al meridiano di Rodi per la longitudine, all'equatore per la latitudine. Suggerì poi varî espedienti per misurare l'una e l'altra. Si crede pure ch'egli tracciasse carte della Terra e del Cielo, seguendo criterî geometrici.

Con l'estendersi della signoria romana la conoscenza della Terra si accrebbe di nuove importanti notizie; e gli studiosi si volsero sempre più dalle pure teorie all'osservazione concreta.

Polibio (§ 29), oltrechè come storico, vuol essere ricordato come geografo, poichè pose a base delle sue narrazioni le descrizioni geografiche regionali. Da questo tempo si può dire che la teoria generale del globo terrestre venga sostituita dalla geografia particolare, la quale ebbe successivamente il maggior rappresentante in *Strabone* (66 a. C.-24 d. C.). A lui dobbiamo una geografia parti-

---

1. La ricostruzione di questa carta, come di quelle di Ipparco, Strabone, Marino di Tiro, Tolomeo, devesi a *P. F. J. Gosselin*. In tempi più recenti la carta di Eratostene fu ricostruita pure da altri *(Ukert, Forbiger, Müller)*.

Digitized by Google

colare o corografia in 17 libri, pervenuta fino a noi benchè incompleta nel settimo libro, e fonte preziosa anche per i precedenti autori citati. Vi sono descritte l'Europa, l'Asia, l'Africa. Con quest'opera Strabone mantenne fede al suo principio che la geografia dovesse essere descrittiva, e rappresentare dei varî paesi le proprietà fisiche anche in relazione alla vita dell'uomo, e ai prodotti della sua intelligenza ed attività.

Tuttavia la geografia matematica nel II secolo a. C. ebbe un cultore in *Marino* di Tiro, costruttore di una carta che, come quella di Eratostene, aveva per parallelo e meridiano quelli di Rodi. Egli accettò per il circuito massimo del globo un dato proveniente dallo stoico *Posidonio Rodio*, che dava alla Terra dimensioni alquanto più piccole di quelle reali esattamente riconosciute da Eratostene, mentre si esagerava l'estensione della Terra conosciuta verso oriente. Errore fortunato, perchè doveva contribuire alla scoperta dell'America.

Claudio Tolomeo (§ 21) accettò e in parte corresse queste idee, adottò un sistema di proiezione (conica) per la costruzione delle carte, e nel suo volume di *Geografia* espose in un catalogo le latitudini e le longitudini di tutte le località del mondo conosciuto. L'opera sua dimostra quanto si estendessero, durante i due primi secoli dell'Impero romano, le cognizioni geografiche, che giungevano fino all'estremo Oriente e alla latitudine Zanzibar, con notizie relative alle origini del Nilo abbastanza corrispondenti alla realtà.

Non altrettanto esatte sono le idee di Tolomeo (derivate da Marino), sull'esistenza di una grande « Terra australe » che avrebbe chiuso a mezzodì l'Oceano indiano facendone un bacino marino separato. Il fantasma della grande « Terra australe » si dileguava soltanto con i viaggi di Cook (sec. XVIII).

Anche Tolomeo concepì, alla maniera di Strabone, la Geografia come una scienza essenzialmente descrittiva, ma non tale che si dovesse limitare a descrivere separatamente luoghi particolari (corografia), ciò somigliando a chi imitasse o dipingesse solo un occhio o un'orecchia. La geografia deve per contro considerare il tutto in universale, seguendo due vie: quella della misurazione della terra (per i rapporti dei luoghi), e l'altra dell'osservazione delle cose superiori o celesti, cose che sono fra loro collegate.

Questa *Geografia* di Tolomeo, nel suo duplice rispetto, matematico e cartografico, rimase come un'opera fondamentale per un lungo periodo di tempo, e se nel medio evo fu dimenticata, venne

Digitized by Google

portata ad alto onore (costituendo il punto di partenza della nuova geografia) all'epoca delle grandi scoperte geografiche.[1]

B) Benchè non si possa separare assolutamente la geografia dei Romani da quella dei Greci, tuttavia la terremo distinta per quel tanto di particolare che ai Romani specialmente dobbiamo.

Nell'epoca romana la materia della geografia riguardante le comunicazioni e l'incivilimento ebbe una parte predominante. Infatti i Romani, che conobbero per esplorazioni le terre conquistate, doveano annettere a questo aspetto pratico della geografia, per i loro scopi militari e di governo, un'importanza maggiore che non all'aspetto teorico. Così troviamo in *Sallustio*, nella narrazione della guerra contro Gingurta, notizie relative all'Africa settentrionale; e le descrizioni che *Cesare* nei *Commentari* fa della Gallia e della Germania hanno lo scopo di far conoscere quei paesi e quei popoli per ragioni politiche e coloniali. *Tacito* con la sua *Germania* ci dà la più antica opera di etnografia che sia giunta sino a noi.

L'Africa settentrionale, divenuta provincia romana, fu meglio conosciuta: monumenti e iscrizioni romane s'incontrano nel Sahara interno. Sotto Nerone venne inviata una spedizione alla ricerca delle sorgenti del Nilo, meraviglioso per la regolarità delle piene da cui dipendeva la fertilità dell'Egitto. Quivi Alessandria, faro di cultura e ricco centro commerciale, avea relazioni con i paesi del Mar Rosso e dell'Oceano indiano sino a Malacca.

Relazioni commerciali ebbe l'Impero romano, per un certo tempo, con la Cina. Troncate e per parecchio tempo sospese, furono riprese per i viaggi di *Marco Polo* (§ 36).

Scopi essenzialmente politici e pratici ebbe anche la cartografia romana. *M. Vipsanio Agrippa* (I sec. a. C.), avea iniziato una descrizione e misurazione delle province dell'Impero. Era il lavoro preliminare per la carta che, per volontà di Augusto, dovea, sotto un portico, far conoscere al pubblico l'estensione e la situazione delle province; e questa carta venne completata dopo la morte di Agrippa. Da essa, con successive modificazioni, ne de-

---

1. Un cenno aggiungiamo relativamente alla teoria delle maree. — Intorno alla metà del II sec. a. C. *Cratete* di Mallo (sopra ricordato) spiegava il flusso e riflusso dell'Oceano per il cozzo stesso delle acque: nel Mediterraneo il fenomeno era una ripercussione di quello oceanico. *Seleuco* di Seleucia, nella stessa epoca, riprese l'idea che *Antigono* di Caristo, tre secoli prima dell'èra nostra, aveva espressa, cioè che nello stretto di Messina le acque crescessero e decressero assieme alla Luna; e un concetto analogo pare fosse in Eratostene, in Pitea. *Posidonio* di Apamea aggiunse in argomento nuove osservazioni. *Plutarco* (§ 16) ha dedicato all'influenza della Luna sulla Terra un'intiera opera.

Digitized by Google

rivano probabilmente altre, tra le quali ultime quella del monaco greco detto l'*Anonimo* di Ravenna (dopo il 650 di Cristo).

Esistevano anche gli *Itineraria* che erano di due specie: o elenchi di stazioni e di distanze lungo le vie dell'Impero, come quello di *Antonino;* oppure rappresentazioni grafiche delle strade dell'Impero (come la carta del tempo di Teodosio, in rotolo pergamenaceo, che prese il nome dal *Peutinger*, il quale ne possedeva una copia che risaliva al XI secolo, l'unica pervenutaci).

Il primo geografo latino è *Pomponio Mela*, del I° secolo dell'êra volgare, nato a Tingentera (nella Spagna meridionale). Scrisse un trattato *De situ orbis* in tre libri. Egli afferma l'esistenza di abitanti nella zona temperata dell'emisfero australe, opposta alla nostra (gli *antictoni*), e dimostra cognizioni circa l'occidente europeo, che rispecchiano l'espansione e la conquista romana. *Plinio Secondo il Vecchio*, morto nell'eruzione del Vesuvio (79 di Cristo), nel VI libro della sua *Storia naturale* fa una geografia corografica.

Notevole è, pure nel primo secolo di Cristo, l'opera di *Seneca* « *Questioni naturali* », in sette libri. La materia è molto varia, comprendendo i fuochi celesti (stelle filanti, aloni, arcobaleno, ecc.), i fulmini e i tuoni, le acque terrestri e il Nilo, le nuvole, la grandine e la neve, i venti, i terremoti, le comete, e insomma quei fenomeni meteorologici di cui già avea trattato Aristotele. Seneca non era uno scienziato, ma la sua opera di compilazione riuscì utilissima.

Un altro compilatore di notizie scientifiche fu *Aulo Gellio* (II sec. e. v.), con i venti libri delle *Notti Attiche*. A *Marziano Capella*, del secolo V, dobbiamo del pari un'opera enciclopedica, in prosa e in versi; e già prima di lui, verso il 400, *Macrobio Teodosio* ne avea composta un'altra analoga, informandosi a Gellio.

§ 35.– Nell'epoca della decadenza. Dopo Tolomeo incomincia la decadenza della geografia, sorte comune, nel dissolversi della società antica, a tutte le scienze. Alle ultime carte degli antichi, che rappresentavano le terre conosciute secondo metodi matematici, si sostituiscono mappamondi dai contorni molto grossolani ed errati, sparsi di notizie fantastiche e di esseri leggendari. La Terra è raffigurata come un disco circondato dall'Oceano; al suo centro sta Gerusalemme. Non sempre però questa immagine, che corrisponde al solo mondo conosciuto, significa che l'autore credette la Terra conformata a disco. Alcuni Padri della Chiesa negarono la sfericità della Terra; altri per

Digitized by Google

contro, come S. Agostino, si limitarono a negare gli antipodi etnici, ossia l'esistenza di uomini, nell'emisfero australe, ai quali non fosse potuta giungere la parola della rivelazione.

Della geografia scompariva perfino la parola, che alcuni sostituirono con *Geometria*. Però mentre il mondo occidentale è assopito in una lunga crisi, gli Arabi continuano l'opera dei Greci, traducendone le opere. Intanto i pellegrinaggi, i commerci e le conquiste portano allo sviluppo delle cognizioni geografiche il loro contributo. Il califfo Al Mamûn faceva eseguire una nuova misurazione del grado di meridiano tra Palmira e Raqquah. Gli Arabi non conoscevano tuttavia l'Europa settentrionale, che fu il centro di espansione dei conquistatori e navigatori scandinavi, noti nella storia col nome di Normanni.

Qnesti raggiunsero l'Islanda (867), che era già stata occupata da monaci irlandesi, e che Dicuilio menziona ancora col nome di Thule. Nel 982 le prore di Enrico il Rosso toccarono la Groenlandia, e poco appresso suo figlio pervenne a un punto della costa dell'America del Nord ove cresceva la vite selvatica. Altri punti della costa americana furono poi raggiunti, e la costa fu colonizzata; ma i coloni furono poco dopo scacciati dagli indigeni.

Tutto ciò fu ignorato dalla civiltà occidentale, che disseminava l'Atlantico di isole fantastiche e leggendarie.

Nel periodo della *Scolastica*, che corrisponde all'epoca delle Crociate, rinasce l'attività scientifica, benchè inceppata da premesse dogmatiche. Gli scritti di Aristotele (§§ 19, 27, 34-*A*), fatti noti in Europa per mezzo degli Arabi, sono da prima, cioè nella prima metà del secolo XIII, proibiti dai Papi, che ne diffidavano; poi acquistarono larghissimo favore, mentre si tentava di metterli in accordo con la dogmatica cristiana. La geografia di Aristotele diventava così quella degli Scolastici.

Alberto Magno (sec. XIII) espose in amplissimi Commentari e paragrafi la dottrina aristotelica, e col suo *Liber de natura locorum* si affermò come il maggior geografo dell'evo medio.

Una delle questioni più caratteristiche per il modo in cui venne trattata, e per le strane conclusioni alle quali alcuni dotti pervennero, è quella della posizione relativa della Terra e dell'acqua. In generale si ammetteva che le acque dominassero assolutamente nell'emisfero australe, dove non doveano esistere terre emerse, nè uomini ai quali non fosse giunta la parola divina.

Archimede, nel suo trattato sui galleggianti (§§ 6, 27), avea chiaramente definito la superficie del mare come una superficie

Digitized by Google

« di livello », cioè in ogni suo punto perpendicolare alla direzione della gravità. La superficie sferica dell'Oceano, come si legge in Seneca e in Plinio, forma un'unica sfera con la parte solida del globo che la sostiene e contiene in grandi cavità. La geografia medioevale ignora tutto ciò, ed ammette che la terra e l'acqua formino due sfere eccentriche, in modo che l'emisfero australe (acqueo) sporge con un rigonfiamento fuori del circuito del globo solido. È questa la dottrina acutamente oppugnata nell'opuscolo *De terra et aqua* che si attribuisce a Dante.

Tuttavia mentre le dottrine geografiche dominanti erano poco felici, e la cosmografia era regredita ad uno stato paragonabile a quello riflesso dai poemi omerici, i navigatori italiani elaboravano ottime carte del Mediterraneo che, per gli scopi di navigazione per i quali erano fatte, si dissero *portolani*. Vi sono tracciate le direzioni di *bussole*, strumento di assai antica invenzione, probabilmente introdotto in Europa dagli Arabi, e perfezionato nel secolo XIV ad Amalfi.

§ 36. – La conoscenza dell'Asia nel medio evo.

Le ricordate scoperte dei Normanni non ebbero importanza per la civiltà europea ancora dominata dall'idea che l'Oceano Atlantico fosse insuperabile. Ebbero invece conseguenze notevoli le relazioni dei Cristiani con l'Impero fondato dai Mongoli. Di buon'ora interessi religiosi e commerciali aveano spinto viaggiatori cristiani nell'interno dell'Asia e fino all'Oceano,[1] e le Crociate aveano messo in stretto contatto l'Occidente con l'Oriente.

Tra i viaggiatori che nel secolo XIII furono in Asia ci limiteremo a fare singolare menzione dei fratelli *Nicolò* e *Maffeo Polo* (1260). Dal basso Volga raggiunsero Bucara e Caracorum, accolti così favorevolmente dal Khan Cublai (il quale avea allora sede a Cambaluc), che nel 1271 intrapresero un secondo viaggio accompagnati da *Marco*, figlio diciassettenne di Nicolò. Dobbiamo a lui il famoso *Milione*, nel quale si trovano le più interessanti notizie sul regno del Catai, che egli durante venti anni di permanenza e d'incarichi di fiducia ricevuti dal Khan, avea avuto campo di percorrere e di conoscere.

---

1. Ricordiamo i seguenti: *Giovanni Piano da Carpino* e *Guglielmo Rubruck* che sulla metà del secolo XIII furono alla corte del Khan a Caracorum; *Giovanni da Montecorvino* che alla fine del secolo diventò vescovo di Cambaluc (Pechino); *Odorico di Pordenone* che viaggiò per l'India, Ceylan, Sumatra, Giava e Borneo, e ritornò nel 1330. — Molto interessanti furono le relazioni da loro stese di questi viaggi.

Digitized by Google

Il *Milione* per molto tempo, ossia fino al secolo XVII in cui i Gesuiti si stabilirono in Cina, costituì la fonte più preziosa e più esatta per la conoscenza dell'Asia centrale e orientale. Marco Polo descrisse assai bene le istituzioni politiche della Cina, il territorio, la organizzazione delle comunicazioni, le banche e l'uso della carta-moneta, l'uso del carbon fossile per riscaldamento, e del gas naturale per l'illuminazione, la magnificenza delle città e dei grandi porti; e in base alle informazioni avute dai Cinesi diede notizia per il primo del Cipango (l'arcipelago del Giappone).

Così durante la prima metà del secolo XIV tra i paesi del Mediterraneo e la Cina si era stabilita una via commerciale, la cui testa, dopo la caduta dell'impero latino, fu la colonia genovese di Caffa in Crimea. Questa via per Astrakan, attraversava l'Asia centrale a nord dei Tienscian, e per il deserto di Gobi raggiungeva la Cina settentrionale e Cambaluc.

Giovanni da Marignola, per incarico del Papa, raggiunse nel 1342 Pechino, e dopo quattro anni ritornò per l'India. Egli credette di essere quindi passato, secondo le credenze cosmografiche di allora, vicino al Paradiso terrestre, e di avere sentito il mormorio delle acque. Ma in Cina nel 1368 alla dinastia mongola era succeduta una dinastia indigena, contraria agli stranieri, sicchè le visite degli Europei dovettero cessare. *Nicolò Conti* da Chioggia non andò oltre l'Indocina e l'Arcipelago Malese. Del suo viaggio esiste una relazione sull'Asia Meridionale, la quale per lungo tempo fu una fonte importantissima per la geografia di quella parte dell'Asia, tanto che la nomenclatura relativa figura ancora sulle carte del secolo XVI.

§ 37. – La via marittima alle Indie.

Marco Polo, fra gli altri, avea fatto conoscere, con l'India, i varî prodotti asiatici, che non era facile avere per vie di terra, a causa della lunghezza, delle difficoltà e dei pericoli del viaggio. Da ciò le repubbliche marinare italiane da prima e poi il Portogallo e la Spagna furono stimolati a cercare la via marittima verso l'Asia orientale, dove appunto si trovavano le spezie rare e costose. Si concepirono due disegni: girare l'Africa a sud da ponente d'Europa, o da ponente d'Europa raggiungere la costa orientale dell'Asia varcando l'Atlantico non sospettandosi l'esistenza del continente americano.[1]

1. Quanto queste idee agitassero le menti può far fede il libro dove *Riccobaldo da Ferrara* raccoglie le opinioni degli antichi per la comunicazione fra l'Atlantico e l'Indiano, a mezzodì dell'Africa; comunicazione negata da Tolomeo.

Digitized by Google

Probabilmente, mentre Marco Polo ritornava per mare in Occidente, avvenne la disgraziata spedizione dei fratelli *Vivaldi*, genovesi, che partiti per navigare intorno all'Africa non fecero più ritorno.

Genovesi furono i nuovi scopritori delle Canarie e di Madera; e italiani, se non genovesi, furono coloro che appresero ai Portoghesi l'arte della navigazione. A questi poi il principe Enrico di Portogallo, sopranominato *il Navigatore*, morto nel 1460, diede, per mezzo dei maestri italiani, quella intensa preparazione marinaresca che dovea fruttare al Portogallo un impero coloniale.

Nel 1486-87 *Bartolomeo Diaz* si spingeva a sud lungo l'Africa e, deviato da una tempesta, approdava finalmente al di là del capo delle Tempeste, luogo che poi venne chiamato Capo di Buona Speranza, perchè appunto lasciava sperare che la via alle Indie fosse aperta.

Il viaggio completo riuscì dieci anni dopo a *Vasco di Gama* (1497) che, girato il capo delle Tempeste, raggiungeva porto Natal, arrivava alla foce dello Zambesi, e dopo essersi riposato a Melinda, sull'indicazione di mercanti arabi si faceva trasportare dal monsone sulle coste del Malabar, nel principato di Calicut (20 Maggio 1498).

Ben presto gli Arabi, detentori del traffico nell'Oceano indiano, si preoccuparono dell'apparire degli Europei; ma Vasco di Gama riuscì a sfuggire alle loro insidie ed ire, e ritornò a Melinda, e di qui in Portogallo.

La via delle Indie era scoperta, e il Portogallo negli anni successivi vi compiva opera di conquista e di colonizzazione.

§ 38. – La scoperta dell'America. Si è detto che un altro disegno per raggiungere con le navi i paesi delle spezie e quell'Asia di Sud-est che i viaggiatori italiani avevano fatto conoscere, era quello di compiere la traversata dell'Atlantico. Infatti l'idea, poi dimostrata erronea, che tra le coste dell' Asia orientale e quelle dell'Europa occidentale non ci fosse che un mare non molto largo, è molto antica, ed è pure antica l'ipotesi dell' esistenza di una nuova parte del mondo interpostavi.

Di queste due opposte concezioni la prima risale a *Marino* di Tiro (§ 34 A) che avea assai esteso il termine dell'Asia orientale, e fu in sostanza accolta da *Tolomeo*, i cui manoscritti allora scoperti furono tradotti in latino dal *Crisalora* nel 1409, e pubblicati con l'atlante di *Agatodemo*. Così l'India era ritenuta vicina alla Spagna, opinione alla quale avea già accennato *Aristotele*. Questa

Digitized by Google

idea passò negli scrittori medioevali, per es. *Ruggero Bacone* (§§ 30, 31). Anche *Seneca* nelle *Questioni naturali* (§ 34 B) aveva fatto il viaggio dalla Spagna all'India.

L'astronomo fiorentino *Paolo Dal Pozzo Toscanelli* (lettera del 25 Giugno 1474 al *Martines*) era di questa opinione, che pareva avvalorata dalle piccole dimensioni, in confronto con quelle reali, che erano attribuite alla Terra da Tolomeo. Egli riteneva che la distanza dal Portogallo al paese delle Spezie (Asia orientale) fosse più breve da occidente che da Oriente, ed espresse questo suo pensiero nella lettera al canonico portoghese Martines (1474). Era un errore, ma riuscì fecondo di risultati, poichè il ligure *Cristoforo Colombo* che si trovava a Lisbona, e che conosceva l'opera su l'*Imago Mundi* del card. *D'Ailly*, conosciuta la lettera del Toscanelli, si decise all'impresa. Poichè nel Portogallo l'idea non incontrava favore, si volse alla Spagna. I dottori dell'Università di Salamanca si pronunciarono sfavorevolmente al suo disegno, ed egli scoraggiato stava già per rivolgersi alla Francia. Senonché volle il caso che, andato a Palos in Andalusia per partire dalla Spagna, nel convento *de la Rabida* trovasse aiuto insperato dal padre de Marchena già confessore della regina, per mezzo del quale potè ottenere tre navi che partirono dal porto stesso di Palos il 3 agosto 1492. Quattro settimane erano passate senza trovar terra, e la ciurma ignorante era atterrita dal fatto che a circa 100 leghe a ovest delle Azorre l'ago magnetico di bordo era deviato da oriente ad occidente del meridiano astronomico. Finalmente il 12 ottobre Colombo approdò a un'isola che egli chiamò S. Salvador, una delle Bahama. Egli credette di aver raggiunto un'isola delle Indie, donde il nome di Indiani dato agli abitanti trovativi.

Il nuovo continente fu pure toccato dal portoghese *Pedro Alvarez de Cabral*, mandato in India per eliminare i commercianti arabi. La corrente sud equatoriale lo trasportò verso occidente, ed egli scoperse involontariamente il Brasile, da lui chiamato *Isla de Vera Cruz* (1500).

Primo a toccare le coste dell'America settentrionale fu il veneziano *Giovanni Caboto*, che il 24 giugno 1497 raggiunse infatti le coste del Labrador a nord dello stretto di Bellisle. Un secondo viaggio egli intraprendeva l'anno successivo. Due anni dopo le coste di Terra Nuova venivano esplorate dal portoghese *Gaspar Corte-Real*. Ma nè a lui nè ad altri riuscì di trovare il passaggio nord ovest. Nel 1519-21 *Fernando Cortez* conquistava il Messico.

Digitized by Google

Nel 1499 il *De Hojeda* con *Juan de la Cosa* e *Amerigo Vespucci* fiorentino (i cui meriti nella storia delle scoperte sono oggetto di sempre maggiori controversie) aveva raggiunto le coste del Surinam contribuendo ad accertarne la natura continentale. Quest'ultimo, mandato poi dal re del Portogallo con una flotta, nell'agosto del 1501, raggiunta la costa sudamericana, credette di riscontrarvi la costa orientale dell'Asia; ma questa supposizione dovea esser ben presto solennemente smentita, quando cioè, nel 1513, *Vasco Nunez de Balboa*, salito sulle montagne dell'istmo di Panama, scorgeva l'immensità dell'Oceano che, per la posizione da cui potè osservarlo, denominò Mare del Sud, onde risultava completamente staccata dall'Asia quella che fu poi chiamata America meridionale. Esplorazioni successive confermarono essere l'America un continente distinto.

Questo nome le venne da Amerigo Vespucci, e figurò la prima volta nel 1507, per la parte meridionale, nella carta del *Waltremüller* il quale, ignorando i viaggi di Colombo, chiamò il nuovo continente « Land des Americus oder America ».

Non risultava tuttavia positivamente se l'America settentrionale, alla sua estremità nord-ovest, fosse o no separata dall'Asia. Alcuni come il fiammingo *Gerardo Kremer*, noto come *Mercatore* (cioè con il nome latino tradotto secondo l'uso dell'epoca) segnarono presuntivamente quello stretto la cui esistenza vera non fu constatata che nel 1648, e il cui nome (Bering) si deve al primo che lo percorse nel 1728.

Il tentativo di trovare, attraverso le terre del nuovo mondo, un passaggio verso ponente e raggiungere i paesi delle spezie dell'Asia orientale, doveva finalmente riuscire a *Ferdinando Magellano*, portoghese al servizio della Spagna. Partito dalla foce del Guadalquivir il 20 settembre 1519, costeggiò l'America del sud tentandone tutti i golfi, con la speranza di trovare un varco verso ponente. Ciò non gli poteva riuscire che verso l'estremità dell'America meridionale ancora ignota, percorrendo il difficile stretto che da allora porta il suo nome, e punto sospettando che poco più a sud vi fosse mare libero. Navigò per oltre tre mesi nell'Oceano da lui detto *pacifico* (per il vento favorevole alla rotta verso settentrione), incontrando due sole isolette, e tra le più crudeli sofferenze per la sete, la fame, lo scorbuto. Superò l'equatore il 13 febbraio 1521, e il 6 marzo arrivò a una delle Marianne, quindi alle Filippine. Nell'isola Mactan cadde ferito a morte in un combattimento con gl'indigeni. La spedizione tuttavia proseguì per le Molucche, e carica di droghe raggiunse, per la via del Capo di Buona Speranza, la costa spagnola il 6 settembre 1522.

Digitized by Google

Di questo viaggio rimangono relazioni, tra le quali quella del vicentino *Pigafetta*.

Così la sfericità della Terra era direttamente dimostrata, l'orizzonte geografico si dilatava immensamente, e si apriva l'êra del traffico mondiale.

§ 39. – La geografia nel Rinascimento. Col Rinascimento incomincia la vera scienza. *Leonardo da Vinci* (§§ 12, 32, 33 A) trattò pure problemi geografici; studiò le forme del paesaggio e spiegò l'origine dei fossili. Con Copernico e Galileo la Terra riceve nell'universo il suo vero posto. Oltre a ciò la quantità enorme di fatti raccolti con le grandi scoperte dovea profondamente modificare le idee cosmografiche dominanti nel medio evo; un altro emisfero con una natura tutta diversa e con uomini differenti e in parte assurti a particolari civiltà, era stato svelato alla vecchia e presuntuosa Europa; le idee tradizionali cadevano e sorgeva la scienza nuova.

Per la nuova massa continentale interposta fra l'estremità orientale e l'occidentale del vecchio continente si ebbe il primo abbozzo della realtà, ossia la *terra quadripartita*. Non mancarono tuttavia coloro che continuarono a volerne fare una dipendenza dell'Asia, restando fermi nel disegno tradizionale della terra tripartita.

Alla traduzione fiorentina di Tolomeo, con le carte annesse, ne erano seguite parecchie altre. Grazie all'invenzione della stampa, l'autore alessandrino dopo un così lungo oblio, riceveva grande diffusione, e da lui si apprendeva la costruzione matematica delle carte (con le proiezioni). Strabone e Plinio ebbero pure nel Rinascimento parecchie edizioni a stampa: così lo studio della geografia veniva in grande voga sotto l'influsso di due correnti: la classica, e la esploratrice.

Nelle successive edizioni di Tolomeo si davano brevi informazioni dei sempre nuovi risultati delle esplorazioni; e alle carte ricostruite sul testo si univano in appendice quelle delle nuove scoperte. Poi venne il momento in cui, questi risultati essendo giunti allo stato definitivo, apparvero i trattati generali e le sempre più esatte rappresentazioni della configurazione terrestre.

Quanto ai primi, la geografia fisica, non ostante la grande quantità di fatti che la riguardavano, era ancora lontana dal poter costituire un sistema normalmente coordinato. Sono numerose invece le cosmografie, tra le quali la più notevole è quella del

Digitized by Google

tedesco *Sebastiano Münster* (1544), che venne tradotta in molte lingue. Questo fu il primo libro di geografia moderna descrittiva, ispirato a Strabone quanto al metodo, con idee nuove, sebbene non fosse privo di errori.

Anche la cartografia fece progressi sotto la guida di principî matematici. S'inventarono nuovi sistemi di proiezione. Il *Mercatore* (§ 38) inventò la proiezione che porta il suo nome; e dalla riunione delle carte successivamente pubblicate nacque il libro detto per la prima volta « Atlante », uscito nel 1595 e di cui nuove edizioni si stamparono sino al 1640. *Abramo Ortelio* nel 1570 pubblicò il suo *Theatrum orbis terrarum.*

In Italia i cartografi s'ispirarono a Tolomeo e ai portolani (§ 35) mediterranei, certamente più esatti. La carta del *Cantino* dedicata al duca di Ferrara, quella di *Nicolò de Canerio*, una carta del 1502 con le scoperte del Vespucci ed altre, danno le primizie delle investigazioni geografiche. Quella di *Leonardo da Vinci* (1513-16) rappresenta il globo. Devono pure essere menzionati in proposito il *Verrazzano*, *Battista Agnese*, *Sebastiano Caboto*, *Giacomo Gastaldi.*

§ 40. – L'esplorazione dei mari australi. Dopo il viaggio di Vasco di Gama non era possibile ammettere una « terra australe » che unisse l'Africa meridionale all'Asia orientale, ma la spedizione di Magellano lasciava adito alla credenza che ci fossero larghe estensioni di terra a mezzodì dello stretto che ne portava il nome, e ad occidente della rotta da lui tenuta.

Quattro nazioni marittime, Spagna, Olanda, Francia e Inghilterra, durante i secoli XVI, XVII e XVIII, spinte soprattutto dalla speranza di trovare nuove ricchezze, contribuirono alla soluzione del problema dell'esistenza o meno della « terra australis incognita », la quale tuttavia figurava nei globi geografici che si andavano costruendo, anche in omaggio all'erroneo presupposto che la Provvidenza avesse dato sul nostro globo maggiore estensione alla terra che non alle acque.

Le esplorazioni furono a un certo tempo sospese, e si ripresero alla metà del secolo XVIII, con un ancor maggiore interesse e profitto scientifico. Non ci è possibile seguirle tutte, e ci limitiamo a ricordare *Giacomo Cook*, il quale dimostrò che la famosa « terra australe » è di limitata estensione (e fu detto per ciò Australia), e che nell'emisfero sud le acque prevalgono sulla terra.

Digitized by Google

§ 41. – La geografia nei secoli XVII e XVIII. Nei secoli XVII e XVIII i progressi della geografia si fanno sempre più rapidi anche per il progredire delle scienze di cui essa raccoglie e coordina i risultati. Nel secolo XVII, così fecondo per le scienze matematiche e fisiche, *Galileo*, scoprendo i primi quattro satelliti di Giove ne dimostra l'utilità per la determinazione delle longitudini. Nel 1666 il *Cassini* ne dà una tavola esatta. La terra si misura. I risultati delle oscillazioni del pendolo a Cajenna dànno la prova che la Terra è schiacciata ai poli e rigonfia all'equatore, come Huygens e Newton aveano preveduto con il ragionamento. Si correggono e migliorano le carte geografiche. L'invenzione del barometro dovuta a Torricelli (§ 32) permette di misurare le altezze dei monti, e lo svizzero *Scheuchzer* nel 1712 pubblica una carta della Svizzera con moltissime quote altimetriche.

Il crescente sviluppo delle scienze affini e le sempre nuove cognizioni e scoperte dànno origine ai trattati; per es. alla *Geographia generalis* (1650) di *Bernardo Varenio*, trattato che può dirsi una storia naturale del globo, e che molto influì sugli studi. Con *Delisle* e *D'Anville* la cartografia si perfeziona.

Nascono anche i primi germi della geografia dell' uomo. *Giovanni Bodin* (1530-1596) riprende l'antico problema dell'influsso che sull'uomo ha l'ambiente, di cui trattarono poi il *Montesquieu* nell' *Esprit des lois* (1648), e *Gian Battista Vico*. La filosofia della storia di *Herder* (1785) diventa infine il punto di partenza per il *Ritter* fondatore della geografia moderna (§ 43).

Si hanno pure scritti di geografia storica, come quelli di *Filippo Clüver* (Cluverio) sull'antica Italia e Sicilia (1624) e sull'antica Germania.

§ 42. – Le esplorazioni geografiche nel secolo XIX e nel principio del XX. Circa l'anno 1800 la cognizione generale della superficie terrestre era compiuta, ma l'interno dei continenti presentava molte lacune indicate da spazi bianchi delle carte. Nuove esplorazioni valgono molto all'opera di completamento, promosse specialmente da intenti industriali e commerciali.

Con la fondazione dell'*African Association*, avvenuta a Londra nel 1788, s'iniziava l'esplorazione scientifica dell'Africa. Verso la fine del secolo XVIII *Mungo Park* e *Federico Hornemann* tentarono di esplorare il corso del Nilo. Ma l'esplorazione dell'Africa divenne intensa verso la metà del secolo XIX. Ricor-

Digitized by Google

deremo dei molti viaggiatori i seguenti: *David Livingstone* che esplorò l'Africa centrale e australe; *Barth* che esplorò l'Africa settentrionale, e la cui opera fu completata dal *Vogel* e dal *Nachtigal; Schweinfurth* esplorò gli affluenti di sinistra del Nilo, e gl'inglesi *Burton Speke* e *Grant* la regione dei laghi equatoriali. Così si svelava l'antico « mistero » delle origini del Nilo, alla cui soluzione aveano contribuito le esplorazioni degli italiani *Miani, Messedaglia, Gessi.* Il bacino del Congo con la grande foresta furono riconosciuti dallo *Stanley* e da altri, tra i quali l'italiano *P. Savorgnan di Brazzà.* I fratelli *Cecchi* e il *Borelli* esplorarono l'Etiopia; il capitano *Bottego* l'Omo e il Giuba.

L'Australia, dove gl'Inglesi aveano colonizzato la Nuova Galles del sud e fondata Sidney nel 1788, venne esplorata nell'interno piuttosto tardi: *Leichhardt* nel 1847 vi lasciò la vita; *Sheart* nel 1862 attraversa il continente da nord a sud; e dieci anni più tardi il telegrafo transcontinentale impiantato fra Adelaide e Porto Darwin favorì nuove esplorazioni.

Il raggiungimento dei due poli della Terra fu oggetto di grandi sforzi e di eroici tentativi. Nel 1878-79 *Nordenskiöld* aveva dimostrato l'esistenza del passaggio nord est (dall'Europa, lungo la Siberia, all'Oceano pacifico), ma lo ritenne impraticabile. Dopo che l'eroico *Andree* scomparve (1897) col suo pallone aerostatico diretto al polo Nord, nel 1901 il cap. *Cagni* della spedizione del *Duca degli Abruzzi* raggiungeva la latitudine boreale di 86°, 34', superato dal *Peary* che nel 1909 raggiungeva finalmente il polo settentrionale. Il polo australe fu raggiunto nel dicembre 1911 da *Amundsen*, e nel gennaio 1912 dallo sventurato *Scott.*

La recente traversata polare *Amundsen-Nobile* dallo Spitzberg all'Alaska potè essere intrapresa e avere esito favorevole grazie all'invenzione e al perfezionamento del dirigibile e della bussola radiomagnetica, e alla grande perfezione della tecnica del motore a scoppio.

§ 43. – La moderna geografia. La prima metà del sec. XIX è l'epoca di *Alessandro Humboldt* e di *Carlo Ritter* (§ 41), che sono i fondatori della moderna scienza geografica. Essa con il progredire delle esplorazioni, con lo sviluppo dei servizi topografici, meteorologici, idrografici, geologici e mineralogici nei singoli Stati, con l'aiuto che le deriva dai progressi meravigliosi delle scienze fisiche e naturali e dalle loro applicazioni, diviene finalmente padrona di sè medesima, prendendo contorni sempre più definiti e completi.

Digitized by Google

Alessandro Humboldt avea viaggiato e raccolto una grande quantità di materiale d'osservazione, ma a lui premeva non tanto conoscere fatti singoli quanto piuttosto stabilirne i legami, nei quali consiste il vero valore delle scienze naturali. Egli avea vivo il senso dei reciproci influssi esistenti tra i varî enti e fenomeni della superficie terrestre; ed egli fu uno degli scienziati a cui si deve lo studio dei climi e della loro azione. Gettava così le basi della climatologia e della geografia delle piante. Acuto nell'analisi, fortemente comprensivo nella sintesi, e continuamente preoccupato di trovare confronti e connessioni, dopo i suoi viaggi in America, illustrati in un'opera speciale, dava alla luce il *Cosmos* e i *Quadri della Natura*, opere di alto pregio e che si possono ancora leggere con profitto.

Carlo Ritter, contemporaneo dell'Humboldt, né tenne le descrizioni come modelli, e ne applicò la feconda idea dell'influsso reciproco dei fenomeni. Particolarmente egli riguardò l'azione della natura sull'uomo, e dell'uomo sulla natura. Però, forse in conseguenza dell'educazione ricevuta, pose a base della sua geografia un principio teologico e finalistico. La Terra si può assomigliare per lui a un grande organismo che esista per l'uomo, e per il fine etico ond'egli è stato creato. Tutto nella Terra è disposto a servirsi di questo fine supremo, come avea pensato anche lo Herder (§ 41). Per il Ritter dunque la geografia non dovea consistere in una semplice esposizione di nomi e di cifre, ma tutto dovea essere coordinato secondo la legge intima della dipendenza reciproca. Furono suoi scolari il *Kiepert*, che si occupò di cartografia e di geografia antica, e il *Réclus* ben noto autore della *Nuova Geografia universale*, e de « *La Terre* ».

La dottrina ritteriana della predestinazione delle regioni terrestri a particolari indirizzi storici dell'uomo, non poteva resistere contro il progredire delle scienze naturali e il loro nuovo indirizzo. Humboldt e Ritter morirono nel 1859; e in questo medesimo anno usciva in Inghilterra la celebre opera di *Carlo Darwin* su « *L'origine delle specie* ». Ora, il darwinismo, escludendo la creazione diretta degli esseri viventi e ponendo la causa della loro formazione nella lotta per l'esistenza, elimina ogni mistica finalità o predestinazione.

Oscar Peschel fu il critico della dottrina ritteriana della « predestinazione », e il capo del nuovo indirizzo dato agli studi geografici, onde l'uomo si considerò come parte di un tutto, non un fine in sé, e quasi un impero entro un impero.

Mentre i ritteriani si appoggiavano troppo alla storia e non tenevano nel conto dovuto le condizioni naturali che poco cono-

Digitized by Google

scevano, il Peschel e i suoi seguaci richiamavano i geografi all'osservazione della natura e con ciò alla geografia fisica. Questa, benchè avesse avuto larga considerazione dall'Humboldt, che nel fondo era naturalista, si era andata sviluppando principalmente per opera dei geologi, tra i quali primo *Carlo Lyell*. Col suo progredire, si rese sempre meglio precisa la conoscenza dei varî ambienti regionali nel loro influsso sulla vita dell'uomo e sulla sua storia.

Intanto si andava meglio definendo il campo d'indagine della geografia in relazione alle scienze più affini, e il *Richthofen*, profondo conoscitore della Cina e maestro nella morfologia terrestre, delimitava la geografia dell'uomo per quei fatti umani che in qualche modo dipendono dalle condizioni naturali.

Importante, per il rispetto evoluzionistico, è la antropogeografia di *Federico Ratzel* (1844-1904). L'origine di nuove specie vegetali e animali si spiega per effetto della emigrazione e dell'isolamento. Analogamente non possiamo figurarci l'origine di un popolo se non geograficamente. Emigrato in un'altra regione, un popolo si differenzia secondo il nuovo « quadro naturale », ma conserva anche gli effetti dell'ambiente geografico originario. Questi influssi il Ratzel illustrò anche tenendo conto di molti dati storici. Egli poi fondò anche la nuova scuola etnografica, offrendo varie osservazioni importanti; e l'etnografia entrava nell'ambito geografico come *Antropogeografia*. Così è intitolata l'opera del Ratzel. Vi si comprende la « concezione ologeica », secondo la quale la terra viene considerata come un « organismo », cioè come un tutto le cui parti sono intimamente collegate e reciprocamente dipendenti. Il Ratzel fu da ciò indotto a sviluppare una dottrina generale della vita, in cui ha parte essenziale la *lotta per lo spazio*, o la concorrenza vitale tra gli esseri per la espansione.

Lo spazio abitato dall'uomo non è tutta la terra; e il Ratzel fa oggetto di studio i limiti e le lacune cagionate dai deserti e da altre condizioni sfavorevoli. Dopo aver considerato la distribuzione numerica del genere umano, ne studia le sedi e le comunicazioni, in quanto dipendono dalle condizioni naturali; e da questo medesimo rispetto ne riguarda lo sviluppo civile. Il Ratzel infine completò la sua dottrina antropogeografica con un'opera di *Geografia politica*, che tratta dell'influsso delle condizioni geografiche naturali sulla vita degli Stati.

In Italia chi dopo l'unificazione politica diede veramente impulso agli studi geografici e si può considerare il fondatore della

Digitized by Google

nuova scuola di geografia fu *Giovanni Marinelli* (morto nel 1900), l'iniziatore degli studi locali fondati sull'osservazione diretta e nel medesimo tempo storico della geografia e trattatista. Molto importante è la sua opera « *La Terra* ».

CAPITOLO VII.

Osservazioni circa il progresso della scienza.

§ 44. – Principii generali. Riguardato nei suoi varî rami e nei principali momenti, il progresso della scienza ci si presenta informato a principî che meritano un distinto esame. Intanto li enumeriamo:

1° A promuovere la ricerca scientifica concorre, con altri motivi, anche il *bisogno pratico*, la pressione della realtà.

2° Noi bramiamo di conoscere il Vero; ma per quale via possiamo meglio scoprirlo? Il problema è assai complesso; giova tuttavia rilevare che un criterio manifestatosi efficacissimo fu quello della *semplicità*. Ciò ch'è semplice, si pensa, è probabilmente conforme a verità. Che del resto la mente umana tenda alla semplificazione è attestato da quello che si suol chiamare il *bisogno filosofico*, che, in ultima analisi, è il bisogno di ritrovare l'Uno nel molteplice, ossia il principio supremo che tutto spieghi.

3° Si andò così iniziando il processo onde si costituì il *Metodo* della ricerca scientifica, e andò sempre più pronunciandosi la coscienza della sua necessità. La *Metodologia* è infatti un ramo della *Logica*. Così il sapere si consolida e può svolgersi sicuramente.

4° Perchè tuttavia la scienza abbia valore obbiettivo, dobbiamo presupporre che tale valore spetti anche ai *principî* o, *concetti* sui quali essa si regge. Come dicemmo nella Prefazione questi, nell'ultimo periodo della storia della scienza, furono oggetto di una particolare *revisione critica*.

§ 45. – Lo stimolo del bisogno pratico. Erodoto narra che la geometria nacque in Egitto (§§ 1, 2, 15, 31) per la necessità di ristabilire le linee di confine fra gli appezzamenti di terreno in cui il paese era diviso, e che le inondazioni periodiche del Nilo cancellavano. A una consimile operazione accenna infatti lo stesso significato etimologico della parola « geometria ». Ma esempi che, come questo, comprovano come il bi-

Digitized by Google

sogno desti nell'uomo il genio inventivo, se ne possono citare parecchi.

Secondo *Eudemo* il teorema che « un triangolo è determinato quando sono dati un lato e i due angoli adiacenti » sarebbe stato scoperto da Talete (§ 5) perchè occorreva a determinare le distanze dei vascelli in mare.[1]

Già dicemmo delle macchine di guerra di Archimede (§ 6). I Babilonesi studiarono i movimenti dei corpi celesti (§§ 3, 15) per trarne segnali in base ai quali prevedere il futuro. Di conoscenze astronomiche abbisognavano inoltre i naviganti, e anche i sacerdoti per fissare le feste periodiche, al quale scopo occorrevano inoltre cognizioni di aritmetica.[2]

I primi problemi aritmetici trattati dai Romani riguardavano calcoli d'interesse, ch'erano necessari sia all'amministrazione pubblica sia a quella privata, per l'abitudine invalsa dell'usura.[3]

Occorreva il calcolo anche per l'esercizio della facoltà di testare, secondo le regole prescritte dalla *lex Falcidia* (40 a. C.). Occorreva inoltre per stipulare i contratti circa le terre, dovendosi misurarle. Di calcoli geometrici aveano bisogno, per le loro predizioni, gli aùguri.[4]

È poi quasi superfluo notare come agli studi della fisica e della chimica stimolasse il bisogno di utilizzare le forze o i corpi naturali, ai fini della vita. Infatti, per es., primi a essere inventati furono gli strumenti da taglio, da lancio, i mezzi di trasporto, ecc.; e sappiamo infine quanto a lungo sia stata coltivata l'alchimia, arte essenzialmente industriale (§ 31).

La « Prospettiva » necessaria alla pittura che tanto meravigliosamente fiorì nel secolo XVI con Raffaello e Michelangelo, indusse a ristudiare gli scritti sull'Ottica di Euclide (§ 29) e Tolomeo (§§ 21, 29), per conoscere le leggi di propagazione della luce.[5]

---

1. Eudemo di Rodi (IV-III sec. a. C.) scrisse, esortato dal suo maestro Aristotele, una storia della matematica; e dell'accenno suddetto ch'egli fa a Talete c'informa *Proclo* di Costantinopoli (V sec. d. C.). Si ritiene pure che Talete in Egitto abbia insegnato a misurare l'altezza di una piramide. Secondo Plutarco egli la misurò osservando che la lunghezza dell'ombra di una piramide sta alla lunghezza dell'ombra di un bastone verticale, come l'altezza di quella all'altezza di questo.

2. La Chiesa di Roma ricercò per molto tempo la norma con cui stabilire il giorno pasquale; e per fare questo calcolo *Beda il Venerabile* (§ 10) esponeva un suo metodo nello scritto intitolato *De temporum ratione*.

3. Contro l'usura fu emanata in Roma, nel 342 a. C., una speciale legge (*lex Genucia*).

4. Era necessario che nei templi fossero tracciate esattamente due rette fra loro perpendicolari, chiamate « *decimanus* » e « *cardo* », la prima diretta da oriente verso occidente, l'altra da mezzogiorno a settentrione. Segnata l'una, l'altra poteva esserne dedotta servendosi dello strumento fondamentale dell'agrimensura romana, detto *stella* o *asterisco*, e anche *groma* (onde quelli che ne usavano si chiamavano *gromatici*). Era costituito da due aste rettilinee disposte ad angolo retto, e mantenute orizzontali mediante un sostegno verticale, terminato al loro punto d'incontro.

5. Sono memorabili in proposito gli scritti dei sommi scrittori di quest'epoca *Pier della Francesca, Leon Battista Alberti, Leonardo da Vinci*.

Digitized by Google

Alle scoperte geografiche contribuirono, com'è naturale, i viaggi, e quindi i bisogni varî che li determinarono (commerciali, coloniali, religiosi).

Se poi Strabone propugnava il fine descrittivo come proprio della geografia (§ 34-*A*), ciò non era indipendente dai fini pratici, politici e amministrativi, ai quali questa scienza doveva servire.

Si rivela infine, come stimolo ad acquistare nuove cognizioni, o a perfezionare quelle già conseguite, il così detto *istinto di potenza*, poichè la potenza dell'uomo ha nel sapere un suo proprio essenziale strumento.

Lo sviluppo della scienza non dipende però soltanto dallo stimolo del bisogno pratico, ma su esso influiscono pur altri motivi. Sappiamo per es. che la chimica recò grandi vantaggi alla medicina per la ricerca dei farmachi contro le malattie. Lo stimolo in atto qui era utilitario; ma escludeva forse quello morale della pietà? L'avidità di ricchezza spingeva già, si disse, alle ricerche scientifiche gli Egiziani e i Babilonesi (§§ 1, 2, 3, 15): ma si può negare che esse in ogni tempo abbiano risentito lo stimolo *intellettuale*, il bisogno di sapere per sapere, o insomma la curiosità?

L'uomo in origine fu attratto dai fenomeni paurosi, e volle studiarli per premunirsene. Lo seduceva però anche lo studio di quelli meravigliosi; e l'ammirazione è dunque un motivo nuovo, e che si può considerare disinteressato.

Rimane tuttavia fuori di dubbio che l'arte in molti casi precedette la scienza: la pratica prevalse in origine sulla teoria. L'arte di numerare (la *logistica* come la chiamavano i Greci) venne prima della scienza dei numeri. In ogni caso però l'arte o la pratica non si esaurisce in sè medesima, poichè genera la scienza o la teoria, la quale quando sia nata assume un'autonomia propria e segue un movimento spontaneo, sotto l'azione di nuovi motivi e in vista di nuovi fini.

Tutti sappiamo quali immensi beneficî la chimica abbia recato, oltrechè alla medicina, alle industrie; ma la chimica ha pure un suo regno puro (*pura* è detta infatti la chimica non applicata); e le stesse sue applicazioni diventano infine uno stimolo ad altre indagini indipendenti da uno scopo diretto od utilitario.

Newton nello scrivere i *Principii* (§ 25) non avea certo in mente le applicazioni a cui la scoperta della gravitazione universale avrebbe dato luogo; nè egli, nelle sue ricerche, obbediva a motivi interessati. Ampère e Faraday, studiando le azioni delle correnti e i loro rapporti con i fenomeni d'induzione, sapevano forse di

Digitized by Google

aprire la via alla costruzione delle potenti macchine elettromagnetiche dalle quali tanto utile provenne alle industrie moderne? Gli esempi di tale natura potrebbero moltiplicarsi.

§ 46. – La semplicità. Erano semplici i quattro elementi materiali [1] (acqua, aria, fuoco e terra) dai quali, secondo l'antica concezione greca, risultava la natura (§ 27); semplici erano gli atomi di Democrito, elementi del meccanismo universale (§§ 28, 33-*B*), e la semplicità ne accreditava il valore esplicativo. Ciò non era senza ragione, perchè la fede nel semplice, come argomento di verità, riposa sul presupposto che siano semplici per sè i procedimenti della natura, e che a questo principio si debba quindi conformarsi nel rappresentarli. Le complicazioni in cui la nostra analisi si dibattesse, sarebbero frutto dell'artificio: la natura se ne ride, disse un giorno Fresnel a Laplace.

Si obbiettò che la realtà a cui si dia un'espressione semplice o astratta perde ogni colorito fino quasi a svanire; ma è questo un buon argomento contro la semplicità e il valore della formula e della legge? [2] Lo vedremo più tardi. Intanto non è fuor di luogo avvertire il pericolo che l'amore della semplicità degeneri nel *semplicismo*. [3]

Delle applicazioni fatte del principio della semplicità citeremo qualche esempio. Primo viene *Pitagora*, con la riduzione delle cose a numeri (§ 5), e l'abolizione di tutti gli altri enti come inutili. La semplicità diventava per sè stessa un argomento in favore del sistema copernicano contro il sistema tolemaico tanto complicato (§ 21). Se era più semplice immaginare che i corpi più piccoli, come la Terra, si muovessero intorno ai maggiori, anzichè l'inverso, ciò era anche più conforme a verità. La natura è *sagace*, ed è quindi

---

1. Anassagora di Clazomene (sec. IV a. C.), che concepì l'universo come costituito da piccole sostanze da lui dette *semi* e che Aristotele chiamò *omeomerie*, fu il primo a ricercare le ragioni dell'ordine e della bellezza del mondo in un principio la cui natura sarebbe spirituale, ossia nel *Noo*, o intelligenza, Questo Noo sarebbe la causa del movimento. Non pare però che Anassagora ne avesse un'idea ben chiara, e di fatto egli non se ne giovò quanto avrebbe potuto, preferendo le cause meccaniche o materiali.

2. Della legge diremo nuovamente più innanzi: qui basti notare che essa è la forma più squisita della semplificazione scientifica, la quale fa un passo ulteriore con la subordinazione delle leggi *empiriche*, come le chiamò Giovanni Stuart Mill, alle leggi più generali e razionali, da cui si derivano, e a una legge unica suprema. Il Mill citava come empiriche le leggi seguenti: *Il chinino guarisce le febbri malariche. — I gas hanno una forte tendenza a traversare le membrane animali. — L'incrociamento migliora le specie animali e vegetali. — La lega di più metalli ha maggior durezza dei componenti*, ecc.

3. Come esempio di semplicismo scientifico o filosofico si potrebbe citare il « materialismo storico » o « determinismo economico », secondo il quale tutti i fatti umani, non esclusa la scienza, avrebbero la loro ultima ragione nell'azione per quanto recondita del fattore economico.

Digitized by Google

più giusto collegare molti effetti a una causa unica, che non moltiplicare le cause. Tale era il pensiero di Copernico. Analogamente Keplero ebbe dalla « *semplicitas et ordinata regularitas* » della natura un motivo per formulare il minor numero possibile di principî. In generale valse la massima che il rapporto quantitativo, per sè semplice, dovesse prendere il posto di quello qualitativo, per sè complesso e variabile. Su questa via, come abbiamo dimostrato, proseguiva vittoriosamente anche Galileo.

La natura, egli disse, nulla fa d'inutile. Essa percorre sempre le vie più semplici, e mediante poche e semplici cause ottiene effetti svariatissimi. Ecco perchè, se vogliamo leggere nel suo libro, dobbiamo conoscerne i caratteri, che sono figure geometriche e rapporti matematici. La semplicità era una caratteristica del suo genio, e lo guidava in tutte le sue indagini. Scriveva: « Io venni condotto a esaminare il movimento accelerato naturale dall'attenta osservazione del procedimento e dell'ordine usuale della natura in tutte le sue attività, imperciocchè questa si serva dei mezzi più semplici e più facili .... Onde quando io osservo come una pietra, la quale cada da rilevante altezza in cui si trovi allo stato di quiete, riceve a poco a poco degli aumenti di velocità, perchè non debbo io credere che questi aumenti non avvengono nel modo più semplice? E noi non possiamo trovare alcun aumento più semplice di quello che avviene costantemente nella stessa misura ».

A Galileo poi era spontaneo il richiamo alle cose facili, piane, naturali, a quelle comunissime che ognuno può vedere e toccare con mano, perchè gli servivano a spiegare cose che apparivano difficili. Ad es. dimostrava che se il telescopio dà diversi ingrandimenti a misura che si accorcia o si allunga, somiglia a una corda o a una canna d'organo, da cui si hanno suoni differenti a seconda che diventa più lunga o più corta.

Nel principio della semplicità rientra pur quello dell'*analogia*. In che questa consista è ben noto. Si accostano e si uniscono in un unico concetto, per ragioni di somiglianza, termini che per altri rispetti differiscono. Così faceva il *Gilbert* quando identificava la Terra alla calamita (§ 33-*A*). Un rapporto di analogia condusse il *Franklin* alla scoperta del prafulmine (§ 33-*A*). [1]

---

1. Si racconta che Newton (§ 25) ricercasse la legge per cui i corpi sono attratti verso il centro della terra, dall'occasionale caduta di una mela (simile, come corpo, a ogni altro corpo), onde poi giunse alla scoperta della gravitazione. Il racconto acquistò tanta consistenza, che l'albero famoso fu per molti anni additato come una gloria del luogo. Morto l'albero, le sue spoglie furono divise fra i discendenti e gli ammiratori del grande scienziato.

Digitized by Google

Da un rapporto di analogia acquista valore, secondo il Maxvel (1831-1879), anche la concezione meccanica della natura, perchè ha per fondamento l'analogia esistente tra il movimento delle masse nello spazio e le variazioni qualitative delle cose, come la temperatura, le condizioni elettriche, ecc. [1] L'analogia dunque è legittima nel nostro pensiero, perchè sussiste anche nella realtà; e non è quindi vana la pretesa di spiegarci un dato ordine dell'esperienza per mezzo di un altro. L'applicazione della matematica alla scienza (cioè la spiegazione della realtà mediante rapporti quantitativi) riposa sul rapporto analogico che ravvisiamo fra le grandezze fisiche e le leggi dei numeri.

Crediamo qui opportuno rilevare che l'analogia ha applicazioni larghissime in tutte le scienze. Per essa si poterono ricostruire, mediante avanzi fossili, esseri scomparsi. Essa poi rese molti beneficî alla medicina perchè, essendosi riconosciute parecchie somiglianze tra l'uomo e l'animale, s'è supposto che certe cause produrrebbero sul primo i medesimi effetti che producono sul secondo. Varî rimedî e antidoti, per es. il vaccino, si ritrovarono seguendo questo principio.

Si comprende però che il ragionamento per analogia non porta a conclusioni definitive se non in quanto si riesca a verificare con l'esperienza se la somiglianza supposta si conformi alla realtà.

Del metodo e della critica del valore della scienza dobbiamo dire più distesamente. A intendere però le origini del metodo nuovo, nelle scienze, gioverà determinare prima quel momento critico del pensiero per cui dalla Scolastica uscì il così detto Risorgimento filosofico, rappresentato dal *Naturalismo.*

CAPITOLO VIII.

Il Naturalismo.

§ 47. – Il medio evo. Che il medio evo sia stato un'epoca d'impotenza intellettuale è un'opinione volgare da molto tempo superata; e a smentirla basterebbe enumerare le menti poderose e universali (come quella di S. Tommaso)

1. Un'analogia determinava pure in Maxwel la *teoria elastica delle azioni elettrostatiche.* Come l'ottica fa pensare a un mezzo elastico, attraverso il quale le onde luminose si trasmettono, così l'attrazione e repulsione a distanza fra corpi elettrizzati indusse il Maxwel a supporre fra i conduttori l'esistenza di un particolare mezzo elastico, la cui pressioni e tensioni si traducono appunto nelle azioni elettriche. Egli poi spiegava le forze a distanza con azioni che si svolgono per contiguità. Particolarmente insistette sull'analogia tra i fenomeni d' autoinduzione delle correnti e le forze d'inerzia, traendone il concetto che alla corrente corrisponda « qualche cosa che si muove » (§ 55).

Digitized by Google

che in esso fiorirono. Se un arresto ci fu nelle libere conquiste del pensiero, si diede però opera intensa alla conservazione e all'illustrazione del passato; e nello sforzo di conciliare con la scienza divina quella umana, si andarono maturando i germi del pensiero nuovo. Inoltre l'intelligenza, nell'uso del metodo deduttivo o sillogistico allora imperante, si affinava, e per il rigore con cui lo si praticava, nonostante le sottigliezze, s'irrobustiva. Infine si disciplinava, soprattutto per l'arte della definizione, il senso logico della parola.

L'atteggiamento fondamentale dello spirito nel medio evo consisteva tuttavia nell'ossequio, che voleva essere incondizionato, alle dottrine aristoteliche, nelle quali si ricercava il fondamento razionale delle credenze religiose. Infatti Aristotele fu, come si disse, cristianeggiato. Infine, poichè la fede dovea essere ad ogni modo salvata contro ogni insidia dialettica, non poteva essere concessa la libertà della ragione, ma si dovea accogliere la rivelazione sottostando fedelmente al principio dell'autorità.

La concezione dell'universo nel medio evo è nota. Risultava dalla fusione della dottrina biblica con quella aristotelica-tolemaica. La Terra è immobile nel centro dell'Universo; la Luna, il Sole, i pianeti e le stelle fisse girano, fissati in solide sfere, intorno ad essa. Sopra la sfera della Luna sta l'etere che non ha, come i corpi del mondo sottostante, un « luogo naturale ». Così era detto il luogo che i corpi muovendosi cercano, in quanto per il peso vanno all'ingiù, e per la leggerezza all'insù. L'etere può quindi muoversi eternamente, con regolarità assoluta. I corpi celesti girano in esso in gran circolo, questo essendo una figura perfetta (ritorna su se stesso); nè poteva loro convenire altra forma di movimento, essendo incorruttibili. Per contro nello spazio sublunare (fra la Terra e la Luna) tutto muta ed è soggetto a corruzione.

Il mondo è limitato dalla sfera delle stelle fisse, mosse immediatamente dalla Divinità, mentre le sfere inferiori sono mosse da speciali spiriti siderei.

Tutto poi era ordinato a servizio della Terra, scopo dell'Universo.

Contro questa concezione reagiscono i filosofi della Rinascenza, nella quale possiamo distinguere propriamente due momenti. Nel primo si cerca di purificare le dottrine di Platone e di Aristotele dalle deformazioni che aveano subite, e di restituirle alla loro forma

Digitized by Google

originaria e genuina. Sono memorabili, a questo proposito, le dispute che si svolsero nei due antichi Studi di Bologna e di Padova circa l'interpretazione che si dovea dare alle dottrine aristoteliche. Il secondo momento è costruttivo. Del mondo, per la scoperta di Copernico, si avea oramai un'intuizione contraria alla tradizione aristotelica-tolemaica; si erano fatte scoperte importantissime, per es. quella della stampa; e molti nuovi esperimenti aveano dato della realtà fisica un'idea nuova. Infine i viaggi aveano rivelato, con la varietà dei costumi, quella delle idee; e la relatività così apparsa del pensiero era in evidente antitesi con il tradizionalismo.

Tutto ciò concorreva a generare e a diffondere la convinzione che il vero sapere non si dovesse attingere dai libri ritenuti allora depositarî di esso, ma dal gran libro, ancora poco noto, della natura. Era un principio rivoluzionario, e non poteva quindi non suscitare la più intransigente reazione. [1] Se però questa valse a ritardare il trionfo del pensiero nuovo, non poteva riuscire a impedirlo.

Il pensiero innovatore proseguì anche attraverso a compromessi, che però non potevano trovare fortuna; [2] e troppo lungo sarebbe, in questo nostro breve disegno, narrarne le vicende, segnalando partitamente quanti vi hanno primieramente contribuito. Ci limiteremo a ricordare due pionieri del rinnovamento scientifico: *Nicolò Cusano* e *Leonardo da Vinci.*

Nicolò di Cusa (Cues, 1401-1464) ben comprese che si dovesse combattere decisamente la presuntuosa superstizione dominante.[3] Riconobbe in pari tempo e propugnò la relatività del nostro sapere, affermazione audace ma fecondissima, ch'egli illustrava nella celebre opera *De docta ignorantia.*

Ogni concetto, sia pur consacrato dalla tradizione, vale subordinatamente alle sue condizioni, cosicchè tolte queste, il concetto stesso rimane annullato. Evidentemente il Cusano si contrapponeva in questo modo alle pretese dello Scolasticismo, minandone le basi, e apriva la via a nuove ricerche ed intuizioni.

---

1. La persecuzione del pensiero contrario alla tradizione si trova anche in Grecia. Per es. le spiegazioni naturali che Anassagora (§ 46) dava di alcuni fenomeni portentosi insospettirono il popolo ateniese, ed egli, accusato di ateismo, dovette fuggire a Lampsaco. Altri filosofi, fra i quali anche Platone e Aristotele, corsero il pericolo d'essere cacciati in esilio, per analoga ragione. Non si tollerava per es. che i fulmini di Giove fossero attribuiti a collisioni fra le nuvole. Si dice che Prodico avendo divinizzate le forze naturali sia stato giustiziato. A tutti poi è nota la fine di Socrate.

2. Nell'agitarsi dello spirito nuovo, la tradizione non poteva essere abbattuta repentinamente, nè la scienza doveva distruggere la fede, onde si venne al compromesso della *doppia verità.* Si volle cioè che ponendosi dal punto di vista filosofico si potesse ammettere ciò che dal punto di vista religioso si negava.

3. Le streghe, egli disse, sono in maggior numero là dove alle streghe si crede.

Digitized by Google

Il principio della relatività fu applicato dal Cusano all'atomo, al luogo, al movimento. L'atomo è il limite a cui giungiamo nella suddivisione *mentale* delle cose; ma non per questo possiamo credere di aver raggiunto il minimo assoluto, come non si raggiunge il massimo assoluto aggiungendo grandezza a grandezza. È relativo anche il luogo, epperò non possiamo attribuire al mondo nè un centro nè una periferia. E perchè dunque dovremmo ritenere la Terra il centro assoluto del mondo? Neppure dobbiamo pensarla in quiete. Se non avvertiamo il suo movimento, ciò dipende dal fatto che non abbiamo un punto fisso assoluto che ci serva di confronto. Ci accade come a chi trovandosi sopra una nave trascinata dalla corrente, e non sapendo che l'acqua scorre, nè vedendo le rive del fiume, non avverta che la nave si muove. Ecco un primo ardito passo verso l'eliocentrismo.

Il Cusano ebbe pure un primo accenno alla legge d'inerzia, avendo osservato che una palla perfettamente rotonda che si faccia muovere sopra una superficie assolutamente liscia, rimanendo immutate le condizioni, conserverebbe il movimento iniziale.

Leonardo (§§ 12, 32, 33-*A*, 39, 45) intese vivamente la necessità di un vero metodo, ed apertamente dichiarò che madre comune di tutte le scienze è l'esperienza. Pertanto quelle speculazioni che non avessero in questa il proprio fondamento, doveano abbandonarsi. Il sapere dovea considerarsi come essenzialmente storico. *Veritas filia temporis non auctoritatis.*

C'è una regola eterna nella natura: la necessità. A conoscerla era quindi necessario il calcolo. « La Meccanica è il paradiso delle scienze matematiche ».

§ 48. – Telesio.

Bernardino Telesio (Cosenza, 1508-1588) è detto il primo degli « uomini nuovi »; e l'opera sua fu fecondissima, avendo notevolmente influito su altri due illustri rappresentanti del Rinascimento, Giordano Bruno e Tommaso Campanella.

Criterio della verità è anche per Telesio l'esperienza, cioè il senso, di cui la conoscenza vera e propria è un modo illanguidito: non è nella ragione astratta.

Riguardando poi la realtà, Telesio escluse che la ragione di questa si dovesse riporre nella « forma », secondo il concetto aristotelico; n'è invece ragione la « forza ». La forma è qualità, e, come tale, appartiene al dominio dell'estetica; la forza è quantità, e appartiene alla fisica. La natura è in pari tempo materia e forza,

Digitized by Google

la quale ultima si manifesta come *calore*, il cui centro è il Sole, e come *freddo*, che ha per centro la Terra. Calore e freddo sono due specie di movimento, alle quali dobbiamo il dilatarsi e il contrarsi della materia; e solo esse valgono a spiegarci le forme assunte dalla materia. Non c'è per Telesio, come c'era per Aristotele, opposizione tra forma e materia; non c'è dualismo di motore e mosso, ma il moto è inerente alla materia.

I corpi celesti si muovono dunque non per un agente loro estraneo, ma per quella stessa loro natura di cui furono dotati da Dio. Non si rivela del resto anche così la divina sapienza? Resta escluso pertanto, dal detto movimento, il fine di servire alla Terra, sebbene i suoi risultati siano a questa benefici.

Falsa è pure, secondo Telesio, la credenza aristotelica che la natura abbia orrore del vuoto. Uno spazio assolutamente vuoto non è che una creazione della nostra fantasia.

§ 49. – Giordano Bruno

(Nola, 1548-1600) raccoglie e sviluppa nella sua dottrina quelle del Cusano, di Telesio e Copernico.

Giovanissimo, si fece frate domenicano, ma il suo spirito era troppo insofferente della disciplina per tollerare la clausura. Peregrinò assai, anche insegnando, e sempre in lotta per le sue idee. Tanto era il fuoco delle sue vene che nemmeno le nevi del Caucaso, per sua dichiarazione, sarebbero bastate a spegnerlo. Dopo molte peripezie, subì, senza abjura, il rogo al quale fu condannato dall'Inquisizione di Roma come eretico.

Scrisse molte opere. Fra queste è capitale « *Della causa, principio et uno* », in cui egli svolgeva i suoi principî speculativi. La trattazione del medesimo soggetto segue nel dialogo *Dell'infinito universo et mondi*. In quello che s'intitola *Cenere delle ceneri*, tratta della dottrina copernicana, che ricevette da lui modificazioni importanti. Altri suoi scritti come *Spaccio della bestia trionfante*, *La Cabala dell'asino pegaseo*, e *Degli eroici furori*, riguardano la vita pratica.

Dotato di una natura impetuosa e poetica, molto egli fantasticò, ma ebbe anche intuizioni poderose che presentò e svolse con forma ardente e profondità di pensiero.

Anche il Bruno, partecipando al rinnovamento dello spirito che allora si andava maturando, e del quale egli anzi può ritenersi il principale rappresentante, pose a fondamento del sapere l'esperienza. In noi questa vale più che nel passato se, come già avea detto Leonardo, noi non siamo i giovani ma i vecchi dell'umanità.

Digitized by Google

Il nostro sapere è dunque superiore, ma dobbiamo accrescerlo con i mezzi naturali, di cui è primo l'*osservazione*. Questo, dichiarava il Bruno, era il compito che ancora spettava all'astronomia.

Osservare però non significa aderire ciecamente alle impressioni del senso: bensì era necessario correggere di questo le eventuali illusioni. Le navi lontane pur muovendosi anche con grande velocità ci appaiono immobili. Osserviamo se lo stesso non accada per avventura per le così dette *stelle fisse*. In proposito accampa i propri diritti l'analogia, chè se la Terra può muoversi nello spazio libero, debbono potersi muovere anche queste stelle.

L'esperienza conferma il principio della *relatività* già illustrato dal Cusano; e il Bruno v'insiste. Secondo l'esperienza sensibile le nostre immagini mutano, e così il nostro orizzonte: muta il nostro centro, se diverso è il luogo in cui ci troviamo o immaginiamo di trovarci. Ogni luogo adunque, disse il Bruno, può diventare centro, polo, zenit, nadir, a seconda del punto di vista dal quale ci poniamo. Non v'è un centro assoluto della realtà, come non c'è un limite. Il sopra e il sotto sono concetti relativi. Il mondo, insomma, ha il centro dovunque e la circonferenza in nessun sito. L'infinità della natura è un'idea caratteristica del Bruno.

Non esiste, egli disse, una ragione qualsiasi per cui al mondo si debba assegnare, seguendo Copernico, un confine: esso è infinito. Dinanzi però allo spettacolo dell'infinità dei mondi, la nostra mente si smarrisce, nè la nostra lingua saprebbe trovare un'espressione adeguata a rappresentarlo.

La materia risulta di atomi, ma il Bruno a proposito dell'atomo ripresenta il principio della relatività. Dobbiamo ammettere gli atomi o le monadi, perchè la suddivisione della materia non può procedere, come ritenevano i matematici e i fisici di quel tempo, all'infinito; però Bruno nega l'atomo assoluto potendosi concepire come composto anche se tale non appare alla percezione sensibile. Il concetto di atomo, di minimo, egli applicava anche alle grandi totalità: è un atomo, una monade, lo stesso universo; un atomo è l'anima del mondo, ossia Dio, monade delle monadi.

La relatività si estende anche al movimento. Uno stesso movimento apparirà diverso secondo che venga scorto dalla Terra o dal Sole. Il punto centrale dove io immagini di trovarmi mi apparirà sempre immobile. Non si può dunque stabilire una differenza assoluta tra movimento e quiete. L'immaginare, come allora era consuetudine, la Terra quale un punto fisso o immobile, equivaleva ad ammettere come dimostrato ciò che si doveva dimostrare. Il movimento è per ciò relativo.

Digitized by Google

Un altro principio della dottrina di Bruno è quello ch'egli chiamò l'*indifferenza della natura*, e che poi fu detto il principio di *attualità*. I rapporti fra le cose sono da per tutto eguali; dovunque agiscono le medesime forze, con le medesime leggi. Gli altri corpi saranno dunque simili alla Terra; e simili al sistema solare saranno gli altri corpi celesti. Così ad es. le stelle fisse possiamo ritenerle come soli circondati da pianeti; nè sono da noi sempre egualmente lontane, in una medesima sfera, come credeva Copernico.[1]

Il Naturalismo del Bruno è quindi esplicitamente monistico. Ciò vuol dire che la natura è per sè stessa un'unità; ed essendo infinita, esclude ogni elemento estraneo; esclude Dio in quanto sia pensato fuori del mondo. Questo ha in sè il proprio principio. L'anima delle cose agisce in esse come totalità in ogni parte, e può concepirsi come volontà di conservazione. Così intendiamo perchè la calamita attira il ferro, e perchè la Terra assume, non altrimenti che una goccia d'acqua, la forma rotonda, per la quale sono tenute meglio unite le parti. Che se questa *causa interna* delle cose o dei fatti basta, perchè ricorrere a una causa esteriore?

Nel movimento è la ragione d'ogni mutare; ma attraverso le mutazioni la materia si conserva. Dal chicco di grano esce lo stelo, da questo la spiga, e poi il pane, e dal pane il chilo, il sangue, e via via. La materia permane attraverso le sue forme successive, le quali però non sono da essa tratte dal di fuori, ma da sè medesima.

A base di tutte le trasformazioni della materia sta una sostanza unica, una originale e universale unità infinita, a cui nulla si contrappone e per la quale, esistente *ab aeterno*, cade ogni differenza tra ora e giorno, anno e secolo. Cadono anche le differenze tra gli esseri finiti, onde paiono trascurabili, in relazione all'essere infinito che abbraccia ogni cosa, le differenze quali quelle, poniamo, che ci appaiono tra l'uomo e la formica, tra l'uomo e le stelle, e via dicendo. Questa unità infinita si esprime inesauribilmente nelle varie forme della materia. Gli opposti si confondono reciprocamente nei loro minimi e nei loro massimi, e risolvendosi nel fon-

---

1. Bruno rispose anche a una delle più importanti obbiezioni che erano state mosse a Copernico. Si osservò che, data la sua teoria, gli oggetti che cadono sulla terra non dovrebbero, cadendo, descrivere una linea perpendicolare al punto di partenza, ma leggermente inclinata verso occidente. Bruno dimostrò che una pietra lasciata cadere dalla sommità dell'albero di una nave cadrà ai piedi dell'albero stesso, partecipando, fino dal principio, al moto della nave per la forza comunicatale (virtù impressa). Se per contro la pietra fosse lasciata cadere da un punto esterno alla nave, essa cadrà un po' indietro (Simili considerazioni indussero più tardi Galileo alla scoperta della legge d'inerzia).

Digitized by Google

damento comune rappresentano una unità che è propriamente *continuità*.

Ogni cosa occupa nella grande unità dell'universo il proprio posto naturale, e nella sua particolarità è perfetta. Esiste il bene, ed esiste il male; ma riguardando la realtà nel suo insieme riconosciamo che ciò che per alcuni rispetti è male, per altri rispetti è bene: la disarmonia diventa armonia.

Bruno assomiglia la natura a un maestro di canto il quale compone in un insieme armonico le molte voci del coro. Ciò tuttavia non significa che egli non sentisse i contrasti tragici della vita, rappresentati vivacemente nello scritto *Degli eroici furori*.

§ 50. – Tomaso Campanella, nato a Stilo in Calabria (1586-1639) rappresentò pure il Naturalismo. Difese pertanto egli pure strenuamente il principio che base del vero sapere è l'esperienza; nè questo era un preconcetto ch'egli coltivasse in odio alla Chiesa. Sostenne bensì che questa avea torto a cercare un appoggio nell'aristotelismo, convenendole piuttosto di costituirsi una dottrina propria. Tali idee gli fruttarono una prigionia di ben 27 anni, durante i quali egli non tralasciava i propri studi.

Ammirò Galileo, di cui scrisse in carcere un'*Apologia* (pubblicata a Francoforte nel 1622 per cura di un amico); ed osservò che se le teorie di Galileo erano errate, conveniva smentirle mediante altre osservazioni. Egli avrebbe voluto che la Chiesa combattendo Galileo non cadesse nel ridicolo.

Per Campanella il *caldo* e il *freddo* hanno nel mondo la medesima funzione che, seguendo Aristotele, avea loro attribuito Telesio. Sono forze animate, perchè altrimenti non potremmo comprendere la loro reciproca attrazione, o insomma l'azione mutua delle cose.

Se poi consideriamo la realtà più da vicino, vediamo che essa si manifesta in tre forme: *forza*, *sapienza* ed *impulso*. L'essere sta nel farsi valere, cioè nella forza, la quale in Dio raggiunge il massimo grado. La forza però richiede, per operare, il *sapere*, chè il termine verso il quale l'azione è diretta dev'essere conosciuto. C'è infine in ogni cosa un *impulso*, il quale è una specie d'istinto alla propria conservazione. La pietra vuol rimanere pietra, e lanciata in alto tende verso il suo luogo naturale, ossia verso la Terra. Piante e animali tendono a propagarsi. Nello stesso bisogno che rivelano il calore e la luce di espandersi dovunque, scorgiamo un impulso eterno; scorgiamo l'attività occulta dell'amore.

Digitized by Google

CAPITOLO IX.

Il nuovo metodo.

§ 51. – Gli strumenti della conoscenza. L'atto del conoscere si compie per l'impiego del senso e della ragione; e molto importa che di questi due strumenti della nostra attività mentale ci rendiamo ben conto, potendosi fare dell'uno e dell'altro un cattivo uso, ed essere quindi condotti all'errore.

Il senso, accostandoci alla realtà, ci rende possibile di ritrarla nel nostro pensiero; ma conviene premunirsi contro le illusioni di cui può essere fonte. Dobbiamo osservare la realtà *bene* e *completamente;* correggere eventualmente il dato di un senso con quello di un altro (potendo per es. il tatto correggere la vista); ricorrere infine all'esperimento.

In tutto ciò ha parte evidentemente, oltre al senso, la ragione. L'osservazione grossolana non ci dà le induzioni scientifiche: la scienza è più che il puro empirismo. Ad es. la forma sferoidale della Terra non si sarebbe potuta desumere dai noti fatti che la comprovano, [1] senza riferirli l'uno all'altro e così salire razionalmente a una sintesi ideale.

La ragione integra i dati del senso, generando dei concetti, e in questi consiste anzitutto la scienza. Deve però essere mantenuta libera da prevenzioni passionali, dai pregiudizî, dalla precipitazione. Il credito della matematica nella rappresentazione della realtà dipende principalmente dal suo carattere disinteressato di scienza esatta.

La coscienza della necessità di queste cautele e delle norme da seguirsi nella ricerca scientifica, si formò tuttavia lentamente. Già Socrate forniva criterî oggettivi alla formazione dei *concetti*, contro gli arbitrî dei Sofisti; ma i principî del metodo nelle scienze non potevano costituirsi saldamente se non con queste. Ce ne offersero i primi e più cospicui saggi Newton e Galileo.

---

1. Questi fatti sono: la proiezione circolare dell'ombra della Terra sulla Luna; l'orizzonte circolare dell'Oceano qualunque sia il punto dal quale si osserva; l'abbassarsi graduale delle navi e terre lontane, mentre vanno scomparendo sotto la linea dell'orizzonte.

Digitized by Google

§ 52. – Newton e Galileo. Abbiamo già osservato che un forte impulso alla scienza moderna venne dalle mutate condizioni sociali, e particolarmente dalle industrie che nel secolo XVII cominciarono a fiorire.[1] Poichè si volevano utilizzare quanto più fosse possibile largamente le energie naturali, occorreva acquistarne una conoscenza perfetta. Per ciò si affermava sempre più la necessità di seguire un buon metodo al quale avea già aperta la via la fede risorta nella potenza della ragione e dell'indagine sperimentale. Esso consisteva nell'induzione e nella deduzione che fra loro si associano in Newton e in Galileo.

Quanto importi l'induzione noi già accennammo a proposito delle indagini di *Newton* (§ 25); ma la deduzione può accompagnarla anche come strumento di ricerca. Per es. dalla caduta dei gravi nella terra Newton deduceva la conseguenza che i pianeti doveano muoversi secondo la medesima legge; e dimostrò poi induttivamente, cioè mediante l'osservazione comparata dei fatti, che questa conseguenza logica era convalidata dalla realtà sperimentale. Agiva dunque in terra e in cielo la medesima forza, la gravità universale. [2]

Galileo adottava questo stesso metodo. La grande fonte della verità essendo l'esperienza, si doveano abbandonare i presupposti metafisici, attenendosi ad essa, non al verbo dell'autorità. Non è infatti punto probabile che le opinioni più antiche siano per ciò anche le migliori; « perchè, sì come d'un uomo particolare l'ultime determinazioni par che siano le più prudenti, e che con gli anni cresca il giudizio, così della universalità degli uomini par ragionevole, l'ultime determinazioni sien le più vere ».

Il gran libro della natura è quello che dobbiamo leggere, per interpretarlo secondo la nostra ragione: da esso noi impareremo più che a leggere i libri antichi.[3] « L'autorità dell'opinione di mille

1. Un accenno in proposito trovasi anche nei « *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze* », di Galileo che incominciano con questa osservazione di Salviati: « Largo campo di filosofare agl'intelletti speculativi parmi che porga frequente pratica del famoso arsenale di voi, signori Veneziani, ed in particolare in quella parte che meccanica si domanda; attesochè quivi ogni sorta di strumento e di macchina vien continuamente posta in opera da numero grande di artefici ».

2. Newton però riconosceva che innanzi all'immensità del reale la nostra conoscenza è necessariamente limitata. Interrogato sul valore delle sue scoperte egli dichiarò: « Io non so come il mondo mi giudicherà, ma io fo a me stesso l'effetto di un bimbo che giuochi sulla riva del mare, divertendosi a raccogliere ora una pietra più levigata, ora una conchiglia più brillante delle altre, mentre l'oceano sconfinato della verità si stende inesplorato innanzi a lui ».

3. « Tennonsi liti e dispute sopra l'interpretazione d'alcune parole del testamento d'un tale, perchè il testatore è morto; che se fosse vivo sarebbe pazzia il ricorrere ad altri che a lui medesimo per la determinazione del senso di quanto egli aveva scritto. Ed in simil guisa è semplicità l'andar cercando i tempi delle cose della natura nelle carte di questo o di quello più che nell'opere della natura, la quale viva sempre, ed operante ci sta presente avanti gli occhi, veridica ed immutabile in tutte le cose sue ».

Digitized by Google

nella scienza non val per una scintilla di ragione di un solo », e « il dubitare in filosofia è padre dell'invenzione facendo strada allo scoprimento del vero ». Del resto, attenendosi all'esperienza non si seguiva, in ultima analisi, un precetto dello stesso Aristotele? [1]

L'esperienza guida all'induzione, per la quale si osservano i casi reali che ci si presentano; e poichè non si possono osservare tutti i casi possibili, dobbiamo limitarci a quelli più caratteristici, dai quali è lecito conchiudere (per analogia) anche per gli altri. Per la deduzione si può presupporre un principio, e poi ricercarne la prova mediante esperimenti. Così Galileo dopo aver posto *a priori* il principio che gli spazi percorsi con velocità uniformemente accelerata stanno fra loro come i quadrati dei tempi, lo comprovò con esperimenti fatti col piano inclinato.

Nessuna prevenzione deve fare ostacolo all'esperimento. Tipico è il caso di quei Peripatetici che si rifiutarono di guardare nel canocchiale di Galileo per tema di dover abbandonare le loro vecchie credenze.

Con l'esperienza noi ci appelliamo al principio della causalità naturale, valido a comprendere scientificamente i fatti. Questi non si spiegano punto ricorrendo alla volontà di Dio, chè a Dio sarebbe indifferente, poniamo, muovere l'Universo attorno alla Terra, o questa intorno al Sole.

La causalità naturale esclude necessariamente anche quell'animismo di cui trovammo tracce in scienziati anteriori, per es.

---

1. « Io stimo che l'esser veramente Peripatetico, cioè filosofo Aristotelico, consiste principalissimamente nel filosofare conforme alli Aristotelici insegnamenti, procedendo con quei metodi e con quelle vere presupposizioni e principî sopra i quali si fonda lo scientifico discorso, supponendo quelle generali notizie il deviar dalle quali sarebbe grandissimo difetto. Tra queste supposizioni è tutto quello che Aristotele ci insegna nella sua dialettica, attenente al farci cauti nello sfuggire le fallacie del discorso, indirizzandolo ed addestrandolo a bene sillogizzare e dedurre dalle premesse concessioni la necessaria conclusione; e tal dottrina riguarda alla forma del direttamente argomentare. In quanto a questa parte, credo di avere appreso dalli innumerevoli progressi matematici, puri, non mai fallaci, tal sicurezza nel dimostrare, che, se non mai, almeno rarissime volte io sia nel mio argomento cascato in equivoci. Sin qui dunque io sono peripatetico ».

« Tra le sicure maniere per conseguire la verità è l'anteporre l'esperienza a qualsiasi discorso, essendo noi sicuri che in esso, almanco copertamente, sarà contenuta la fallacia, non essendo possibile che una fissata esperienza sia contraria al vero: e questo è pure precetto stimatissimo di Aristotele e di gran lunga anteposto al valore ed alla forza dell'autorità di tutti gli uomini del mondo.... Voglio aggiungere per ora questo solo: che io mi rendo sicuro che se Aristotele tornasse al mondo, egli riceverebbe me tra i suoi seguaci, in virtù delle mie poche contraddizioni, ma ben concludenti, molto più che moltissimi altri che, per sostenere ogni suo detto per vero, vanno esplicando da i suoi testi concetti che mai non li sarian caduti in mente. E quando Aristotele vedesse le novità scoperte nuovamente in cielo, dove egli affermò quello esser inalterabile ed immutabile, perchè niuna alterazione vi si era infino allora veduta, indubitabilmente egli, mutando opinione, direbbe ora il contrario; chè ben si raccoglie, che mentre ei dice il cielo esser inalterabile, perchè non si era veduta alterazione, direbbe ora essere alterabile, perchè alterazioni vi si scorgono. ».

Digitized by Google

in Keplero (§ 23). Varrebbe forse, a spiegare l'attrazione della calamita, il concetto della « simpatia »?

Infine non sussiste per Galileo alcun vero conflitto tra la fede e la scienza, perchè anche per mezzo di questa Dio avea rivelata la propria potenza, il proprio pensiero. Il cielo del credente e quello dell'astronomo non si devono confondere.

§ 53. – Bacone di Verulamio (1561-1626), pur non avendo fatto alcuna scoperta, si considerò araldo *(buccinator)* di una nuova êra nella quale, abbandonate le speculazioni sterili, si sarebbe applicato in tutti i campi del sapere il metodo induttivo o sperimentale. Egli formulò pertanto nel *Novum Organon* (1620) — così da lui chiamato in contrapposizione all'*Organon* di Aristotele — i canoni del nuovo metodo. In *De dignitate et augmentis scientiarum* (1623) descrisse lo stato delle scienze di allora, rilevandone le lacune.

L'esperienza, progredendo, arricchisce via via il nostro sapere, e quindi anche il nostro potere sulle cose, il nostro impero sulla natura.[1] Importa dunque anzitutto, a somiglianza della formica, raccogliere dall'esperienza quanto materiale è possibile; non dobbiamo pretendere, simili al ragno, di trarre tutto il nostro sapere dall'interiorità nostra, dalla nostra pura ragione. Il materiale raccolto deve poi essere elaborato, come l'ape elabora il succo côlto dai fiori convertendolo in miele. Vana sarebbe la pretesa di penetrare i principî dell'essere, o le ragioni della realtà, immediatamente. All'intelletto non si deve soltanto dare le ali, ma imporre piombo e pesi.

Le cause vere non si ricercano utilmente senza aver prima ridotta la mente come una *tabula abrasa*, cioè senza averne eliminate tutte le anticipazioni che Bacone chiamò *idoli*, o false immagini. Gli idoli, i pregiudizi, sono di varia specie, e Bacone li enuncia così:

1° *Idola tribus* (cioè del genere umano immaginato come una grande tribù). Nascono dal vedere e intendere le cose *ex analogia hominis* anzichè *ex analogia universi*, cioè secondo la loro relazione e somiglianza con noi, invece che secondo il posto che occupano veramente nell'universo. Noi attribuiamo loro perciò un ordine e una semplicità maggiori che in realtà non presentino. Il nostro intelletto ama l'uniformità, ma è quindi uniforme,

1. Tuttavia Bacone apprezzava pure altamente il piacere della pura « *contemplatio rerum* »: vedere la luce è più splendido che non la molteplice utilità della luce.

Digitized by Google

come la pensiamo, anche la natura? Immaginiamo un limite; ma questo c'è veramente nelle cose? Crediamo che queste seguano determinati fini, perchè da fini è guidata la nostra condotta; ma anche questa è una illusione. Crediamo che siano ciò che vorremmo che fossero, ed ecco un altro inganno evidente.

2° *Idola specus.* La nostra natura individuale è simile a una spelonca in cui la luce della realtà si rifrange in un modo particolare e illusorio. L'indole originaria, l'educazione, l'ambiente, le letture dispongono infatti ciascuno di noi verso la realtà variamente. Facciamo piuttosto maggior attenzione alla somiglianza, oppure alla differenza; vediamo più le parti che non l'insieme, o questo a quelle preferiamo; amiamo le cose nuove, oppure ci atteniamo strettamente alle antiche.

3° *Idola fori.* Risultano dall'influsso indebito che le parole hanno sul pensiero. Esse per es. ci fanno credere di possedere intorno al reale idee che in verità non abbiamo, e danno vita a cose inesistenti, o ci fanno indugiare in discussioni equivoche e vane.

4° *Idola theatri.* È un teatro la scuola, dove si rappresentano quelle commedie *(fabulae)* che sono le dottrine tradizionali, spacciate come vere anche se tali non sono. Spesso si risolvono in pure sottigliezze, le quali poco importa che appaiano eleganti. Importa bensì che le teorie si fondino sulla realtà, e che si costruiscano percorrendo la via retta. Giunge alla mèta più presto uno zoppo che si trovi sulla strada maestra, che non un veloce corridore che batta una strada falsa.

Bacone premunisce dunque contro quel soggettivismo onde la realtà rimane trasfigurata, e insegna a purificare il nostro intelletto perchè ne diventi uno specchio fedele. Ciò avverrà per mezzo dell'induzione, alla quale può aggiungersi — avverte pur Bacone — la deduzione, come quando, posta provvisoriamente un'ipotesi, cerchiamo casi tali che ne sia consolidata o respinta. La scoperta dell'errore serve a qualche cosa. Non avendo però Bacone riconosciuto, come Keplero e Galileo, il valore del metodo quantitativo, non ci dà come questi ultimi l'intiero metodo della scienza della natura.

Non basta però riconoscere molti casi analoghi, per trarne la ragione di un fenomeno: non basta l'*enumeratio simplex.* Contando le tavolette votive appese in un tempio, sapremo quanti devoti hanno ottenuto la grazia richiesta, ma non a quanti questa sia stata negata.

Circa le *istanze* o prove positive, Bacone notava che si devono trovare quelle *negative*, cioè casi in cui il fenomeno, in condizioni

Digitized by Google

simili, non si avvera. Una sola di queste può distruggerne molte positive.

Quando nessuna prova contraria si può temere, si ha la vera induzione, la quale non è certo un'impresa facile. Ma se scopriamo un'*istanza prerogativa*, cioè un fatto che basti da solo a darci la certezza assoluta, avremo allora l'induzione sicura, cioè la legge. Qualora questa non ci si presenti spontaneamente, potremo cercarla mediante l'esperimento, arte per la quale costringiamo la natura a svelarsi.

§ 54. – Cartesio. Celebre è di Cartesio (§§ 5, 12, 25, 32) il *Discorso sul metodo* (1637) nel quale egli, oltre ad esporre un programma di fisica, e indicare le ricerche da compiersi per completare le sue esperienze personali, descrive quello che gli parve il vero metodo della ricerca scientifica e filosofica. È il metodo *razionale:* nè per questo Cartesio, che del razionalismo moderno è il capo-scuola, si dichiarava avversario del metodo *empirico*, perchè anche per lui il punto di partenza è pur sempre l'esperienza. Vero è però che la deduzione in Cartesio procede per proprio conto, senza che sia messa nella giusta luce la necessità di verificarne le conseguenze.

L'esperienza era per Cartesio soltanto uno stimolo, per il presupposto che la scienza ci dia dei fenomeni soltanto una interpretazione possibile. Trascurando egli poi di verificare singolarmente le ipotesi a cui giungeva deduttivamente, la sua filosofia naturale assumeva un carattere assoluto e arbitrario.[1] Insomma Cartesio non comprese abbastanza Galileo; non seppe integrare, nello studio di fatti determinati, la deduzione con l'induzione. In compenso insegnò a usare rigorosamente della ragione.

La ragione, o il buon senso, notava Cartesio, è eguale in tutti: non così l'uso che se ne fa, o il giudizio che ne deriva. Importa adunque che la ragione si applichi bene, e a questo scopo è necessario che la volontà le obbedisca. Per quali vie questa sottomissione avvenga (in ciò consistendo il buon metodo) Cartesio espone tenendo conto della propria esperienza.

Fra tutti gli studi fatti sotto la guida dei Gesuiti, il frutto principale, se non unico, l'ebbe dalla matematica, il cui metodo

1. Ne abbiamo dato un saggio al § 32. Cartesio concepì la materia come pura estensione, e perciò delle cose egli ricercò soltanto le proprietà geometriche. Certo però questa concezione meccanica e quantitativa della realtà, o l'ideale matematico della scienza, valse potentemente a reagire contro il metodo scolastico che ricercava nelle cose le qualità e le cause occulte.

Digitized by Google

è per sè una garanzia assoluta di verità, non prestandosi a quella molteplicità di opinioni discordi che Cartesio avea notata nella dottrina dei maestri e nei suoi viaggi. Il metodo della matematica devesi dunque adottare anche nelle varie questioni scientifiche e filosofiche, se si vuole ricostruire il sapere sopra una base incrollabile.

Cartesio fissa, ciò posto, quattro principî:

1° Si deve accettare per vero solo ciò che è *evidente*. Bando alle prevenzioni e alla precipitazione. Intorno ad ogni cosa dobbiamo formarci idee *chiare* e *distinte*, le quali sono perciò anche vere.

2° Per superare una difficoltà complessa la divideremo in difficoltà minori.

3° Nel proprio pensiero si procederà con ordine, movendo da ciò ch'è più semplice e più facile, e salendo mano mano a ciò ch'è più complesso e difficile.

4° Si farà delle proprie idee l'enumerazione completa, senza tralasciare alcun anello; e si procederà alla revisione generale delle proprie cognizioni.

Ciò che importa anzitutto è fissare i principî in modo che rimangano fuori d'ogni dubbio;[1] e a ciò occorre adottare il metodo *analitico*. Consiste nel muovere da ciò ch'è dato, o che si pone provvisoriamente, e nel risalire ai suoi presupposti razionali. Mediante questa analisi si giunge infatti a intuizioni semplicissime, chiare e distinte, a intuizioni evidenti, come sarebbero queste: Un triangolo è limitato da tre linee. — La stessa cosa non può nello stesso tempo essere e non essere. — Tutto ha una causa. — Nell'effetto non può essere più di quanto è nella causa.

Il metodo analitico servì a Cartesio per stabilire le prime verità, quella per es. dell'esistenza dell'anima.

Movendo dal dato del pensiero, egli risaliva appunto al principio che esiste una sostanza pensante. *Cogito, ergo sum*. Del pensiero, come fatto, non possiamo dubitare, anche se di tutto dubitassimo, perchè il dubbio è pur un atto di pensiero; ma è possibile pensare senza esistere come essere pensante? Analoga evidenza deve potersi ripresentare in tutto ciò che riteniamo vero.

---

1. Cartesio, di cui già vedemmo l'importanza nella matematica, osservò che la differenza tra la geometria e la filosofia sta in questo, che la geometria ricava le conseguenze da principî che essa assume come certi, mentre la filosofia deve dimostrarne la verità.

Digitized by Google

CAPITOLO X.

Questioni di critica della scienza.

§ 55. – La rappresentazione meccanica della realtà. È in noi naturale il bisogno di conoscere, cioè di concepire la realtà quale essa è: nè altro può essere il fine della scienza. Ma quale criterio si deve seguire per raggiungere veramente questo fine, ossia perchè la rappresentazione del reale non riesca illusoria e arbitraria? Ecco il problema della scienza, al quale abbiamo sopra accennato (§ 44) soggiungendo che i *principii* del sapere scientifico furono recentemente oggetto di discussione critica. Noi, nel trattarne, ci limiteremo ad alcuni nomi e a pochi cenni, quanti bastino a dare in argomento un'idea generale.

Un'interpretazione dominante nell'età moderna, e che avea al suo attivo, per così esprimerci, il suffragio di un passato secolare, è quella detta *meccanicistica*. È particolarmente rappresentata dalla *Scuola inglese* che si onora dei nomi di fisici eminenti quali il Maxwel, il Faraday, il Thomson, il Lodge; e ad essa si contrappone la dottrina che risolve la realtà in puri *concetti*, fondamentali, o nella *rappresentazione matematica*.[1]

Il Meccanicismo della suddetta Scuola prese una forma concreta e curiosa nella *teoria dei modelli*, la cui costruzione il Lodge tanto esaltò da dichiararla una gloria della Fisica matematica inglese.

« Io, scriveva il Thomson, intendo dimostrare come si possa, considerando una specie qualsiasi di fenomeni, costruire un modello meccanico atto a soddisfare a determinate condizioni. Questo modello è per noi un bisogno, per es., quando riguardiamo i fenomeni di elasticità dei solidi o quelli della vibrazione della luce. Soltanto se riusciamo a costruire un modello meccanico corrispondente a un dato fenomeno fisico, possiamo tenerci sicuri di averlo compreso ». [2]

---

1. È stato osservato che la preferenza data a una delle due specie di rappresentazione della realtà fisica, cioè meccanistica o concettuale e matematica, non è da ritenersi indipendente dal *tipo* dell'individuo, variando a seconda che in lui prevale l'immaginazione sensibile (visiva, tattile, muscolare), oppure la tendenza all'astrazione.

2. La corrispondenza del modello al fenomeno sta nella sua imitazione, per es. la viscosità di un corpo è rappresentata dalla glicerina, la rigidezza da un blocco di acciaio, la flessibilità da un filo di bozzolo, ecc. Il meccanismo costruito simula le proprietà della cosa studiata, e così il senso interviene, mediante l'artificio, a soccorrere la ragione.

Digitized by Google

Citiamo un esempio. Si tratti di comprendere i fenomeni elettrostatici. Fra i due conduttori si possono concepire linee di forza astratta; ma non sarebbe questa la rappresentazione più efficace. Invece, secondo il principio dei *modelli*, le linee stesse si concretizzano fino a raggiungere le dimensioni di un tubo di cauciù vulcanizzato; e in luogo di un gruppo di linee di forza immaginaria, si pone un pacchetto di corde elastiche, incollate con le loro estremità alle superfici dei due conduttori, distese e tendenti nello stesso tempo a ingrossarsi e a raccorciarsi. Avvicinando i due conduttori, si vedono queste corde elastiche tirarli, e ciascuna di esse accorciarsi e ingrossarsi. — È il celebre modello delle azioni elettromagnetiche del Faraday.

Nulla vieta però che la fantasia possa sbizzarirsi rappresentando la stessa cosa con immagini materiali diverse. Così il Thomson stesso nella teoria dell'*atomo-vortice* immagina l'etere come un fluido omogeneo, privo di viscosità, diffuso nello spazio, e libero da ogni movimento vorticoso; ma per rappresentare la gravitazione onde le molecole sono attratte fra loro, colloca in questo fluido una grande quantità di corpuscoli moventisi in ogni senso con velocità estrema. Nè sono questi i soli modelli dell'etere immaginati dal Thomson.

Il Maxwel rappresentava l'etere come un favo le cui cellette anzichè essere di cera, sono costituite da un corpo elastico. Le deformazioni di questo corpo rappresentano le azioni elettrostatiche, e in sostituzione del miele egli immaginava un fluido agitato da un movimento vorticoso, che rappresenterebbe l'azione magnetica.

Queste costruzioni, avendo un carattere simbolico, non valgono come vere e proprie spiegazioni dei fatti che esse riguardano; però giovano, da un lato, a dare una visione meccanica della realtà, in quanto l'essenza di questa è riposta nel movimento. Inoltre possono acquistare un valore pratico se inducono a fare *previsioni* che poi l'esperienza avvalori. [1]

Che il movimento sia l'essenza della realtà, e valga quindi a spiegarla, fu dichiarato dal Maxwel (d'accordo col Faraday e il Thomson) esplicitamente. Egli infatti osservava che noi possiamo

---

1. Così, ad es., il Maxwel, guidato dal suo pensiero circa l'*analogia* (§ 46), oltrepassando, in conseguenza della sua immagine sopra riferita, l'esperienza immediata, fu indotto a considerare le onde luminose come un caso particolare delle oscillazioni elettro-magnetiche. Riflettè infatti che queste oscillazioni periodiche estremamente rapide dovrebbero produrre fenomeni analoghi a quelli della luce, Venti anni dopo Hertz scopriva che i caratteri delle oscillazioni elettriche e della luce sono identici; e fu questa una conquista della scienza che promuoveva altre importanti ricerche, come in Italia quelle di Augusto Righi.

Digitized by Google

comprendere il riposo e l'equilibrio solo per mezzo del movimento; epperò la *cinematica* (cioè la teoria del movimento per sè, fatta astrazione da ciò che si muove) deve precedere la teoria dei rapporti d'equilibrio, ossia la *statica*.

La cinematica abbraccia in certo qual modo anche la geometria, perchè la differenza tra l'una e l'altra non è che nel *tempo*, il quale nella prima viene introdotto come quantità misurabile. D'altra parte la geometria studia veramente il processo per cui si costruiscono figure nello spazio. Per es. la linea *A-B* non è che il segno di un movimento che va da *A* a *B*. Il movimento infine ci è necessario a rappresentare una forma qualsiasi.

§ 56. – Obiezioni al meccanicismo. Questa *teoria dei modelli*, intesa soprattutto a spiegare l'azione a distanza, e della quale il Maxwel figura come uno dei principali rappresentanti, fu molto discussa; e il *Poincaré* (1854-1912), insigne matematico, fra l'altro osservò che, ammesso questo tentativo d'interpretazione meccanicistica della realtà fisica, sono possibili più spiegazioni analoghe. Per es. l'ordine delle ondulazioni del Fresnel, e la teoria elettro-magnetica del Maxwel, possono ritenersi vere entrambe, conducendo l'una e l'altra alle medesime equazioni differenziali. Denotano una relazione tra cosa e cosa, e poichè questa relazione si può chiamare tanto movimento quanto *corrente elettrica*, noi usiamo in tal modo denominazioni che non hanno per sè un valore scientifico. Importa assai più stabilire i *rapporti reali, funzionali*, a cui quella relazione corrisponde. I nomi, e le immagini meccaniche, non possono soddisfare ai fini della scienza.

Soltanto questi rapporti obbiettivi dànno alla scienza un contenuto positivo, e quindi un vero e proprio valore; ogni altra aggiunta è arbitraria.

Il Meccanicismo parve da prima invigorirsi per il principio della *conservazione dell'energia*, e specialmente per la scoperta del *Mayer* circa l'equivalenza del calore e del lavoro. Infatti questa scoperta lasciava credere che tutte le forme dell'energia potessero ridursi alla cinetica. Ma se una forma poteva convertirsi in un'altra, non parve tuttavia che ci fosse ragion sufficiente per considerare una di esse, la cinetica, come fondamento di tutte le altre, chè anzi vengono poste così tutte allo stesso livello.

Un colpo più forte ricevette il Meccanicismo dal principio del *Carnot* e del *Clausius* circa la reversibilità dei fenomeni.

Digitized by Google

La Meccanica studia i fenomeni in quanto reversibili; ora si dimostrò che nel passaggio dall'energia termica alla cinetica la reversibilità non esiste. Possiamo impiegare una certa quantità di lavoro per elevare la temperatura di un corpo; ma quando il processo s'invertisse non si otterrebbe, con l'abbassarsi del livello termico, la quantità medesima di lavoro che ha richiesto il suo elevamento. Insomma una parte dell'energia termica rimarrebbe, come si suol dire, degradata: non si trasforma in lavoro.

Questa irreversibilità contrasta il principio stesso della Meccanica, perchè se tutto si risolvesse nel movimento, la reversibilità ne sarebbe una conseguenza necessaria; ossia il lavoro compiuto in una direzione (ascendente) dovrebbe compiersi egualmente nella direzione opposta.

Più tentativi si fecero per salvare, contro questo colpo mortale, il Meccanicismo; ma non ebbero buon esito.

§ 57. – Il principio dell'economia. Come accennammo riportando l'obiezione del Poincaré alla *teoria dei modelli* (§ 56), la rappresentazione scientifica della realtà dev'essere, secondo il principio accennato (§ 46), la più semplice, ossia la più *economica*.

Questo criterio economico trovava un suo primo avviamento in quell'indirizzo filosofico che fu detto *empirio-criticismo*, del quale ci basta citare come rappresentante molto autorevole *Riccardo Avenarius* (1843-1896). È una concezione detta anche *biologica*, perchè si fonda sul principio biologico del minimo consumo di forza. Se vogliamo, si disse, che la nostra esperienza diventi vera scienza, dobbiamo epurarla da tutte quelle forme arbitrarie che l'hanno inquinata, e che traggono la loro origine, oltrechè dal sentimento, anche dall'intelligenza, come la *sostanza*, la *causa*, il *fine*, ecc. La critica dell'esperienza ci salva dall'errore. Dobbiamo attenerci, in questa critica, al principio dell'economia, che del resto è una legge naturale della nostra mente.

Una forma economica è il *concetto*, se per esso possiamo abbracciare, con uno sforzo minimo, infiniti oggetti; e del pari la *legge* in quanto ci serve a intendere molti fatti particolari, che noi le subordiniamo tanto in maggior copia quanto è maggiore la sua estensione o generalità.

Una semplificazione estrema nella rappresentazione scientifica della realtà esposero l'*Hertz* e l'*Otswald*.

Digitized by Google

Per l'*Hertz* (1857-1894) i concetti di forza e di atomo (elementi del Meccanicismo) sono superflui: noi non vediamo, egli dice, fuorchè masse in movimento, e ci bastano quindi i concetti di *massa*, *spazio*, e *tempo*. Esse oltrepassano le nostre percezioni sensibili e non dobbiamo perciò arrestarci a queste, perchè saremmo indotti così ad ammettere più di quello che realmente esiste. Lo stesso si dica della « forza » e dell' « *atomo* ». La forza è un concetto che impieghiamo a determinare la relazione di due movimenti, e per essa intendiamo o la causa o l'effetto del moto; dunque non è un concetto primitivo, ma derivato. Infine, il concetto di atomo è un'astrazione, perchè noi c'imbattiamo sempre in sistemi materiali, mai nel punto singolo di una massa.

Di contrario avviso, circa il concetto generale di *forza*, o, più precisamente, circa l'*energia*, fu *Guglielmo Otswald*, il quale nell'opera *Lezioni sulla filosofia della natura* (1902), attenendosi a idee già svolte dal Rankine e dallo Spencer, eliminava decisamente qualunque elemento tranne l'*energia*. L'esperienza, secondo l'Otswald, altro non ci dà che questa, ed energia è lo stesso spirito in ogni suo fenomeno. La *materia* si risolve in energia, che è sempre lavoro. Superfluo è anche il concetto di causalità supplendovi appunto il concetto di energia, della quale la causalità non è che la trasformazione.

La massa è la capacità dell'energia motrice; il pieno è l'energia del volume; il peso è energia di posizione; le proprietà chimiche sono specie diverse dell'energia che appare nelle trasformazioni dei corpi.

L'energia infine è anche « sostanza », se con questa parola intendiamo « ciò che persiste ». Non c'è un concetto più vasto e più semplice che ci rappresenti la essenza della realtà.

Otswald non ammette che numeri e segni algebrici, in essi consistendo per lui il vero metodo scientifico, in quanto dev'essere *economico*.

A proposito della concezione economica della scienza presenta un particolare interesse la dottrina di *Ernesto Mach* (1838-1916).

La scienza nel suo processo attraversa tre stadî: *sperimentale*, per il nostro contatto con la relatà; *deduttivo*, onde ai fatti sostituiamo immagini; *formale*, per cui ordiniamo le nostre cognizioni sistematicamente, a risparmio di tempo e in vista d'una utilità pratica. Ma qual'è anzitutto l'ultima essenza della realtà, che noi facciamo oggetto di scienza? È, disse il Mach, la *sensazione*.

Digitized by Google

I corpi in sè sono enti enigmatici; propriamente essi non sono che simboli delle nostre senzazioni (colori, suoni, sapori, odori, ecc.). Trovar dei legami fra le sensazioni è spiegare scientificamente la realtà, corrispondendo essi ai rapporti esistenti fra le cose. A ciò, ossia a porre un ordine nel mondo delle sensazioni, noi siamo spinti dal bisogno pratico; e così avviene per es. che concepiamo la cosa come *sostanza* distinta dalle sue qualità o dai suoi accidenti. Saremmo però preda di un'illusione se per il bisogno pratico di trovare la stabilità, credessimo a questa come reale. Invero ogni schema mentale devesi al bisogno *economico*, a una ragione di *comodità* che ci rende possibile orizzontarci nel mondo. Questo principio utilitario vale universalmente: si estende a tutti i nostri *concetti*, e alle *leggi;* in una parola, a tutta la scienza.[1]

Nella fisica usiamo i concetti di *forza*, di *atomo*, di *massa*, ma questi non sono che strumenti del pensiero che impieghiamo per richiamare alla memoria esperienze ordinate economicamente: non hanno valore come concetti reali, obbiettivi.

Altrettanto dicasi del rapporto di *causalità*. Designa il legame più stretto che una descrizione possa esprimere: nient'altro.

Quanto alla concezione meccanica della natura, nulla ci permette di dedurre da essa che i processi fisici siano, propriamente parlando, processi meccanici; ma le leggi meccaniche, prodotto della nostra astrazione, possono servire da modelli formali; e questa loro funzione pratica sussiste di fatto in quanto i movimenti dei corpi nello spazio sono i processi più semplici e più accessibili alla nostra immaginazione. Fuori di questa condizione il meccanicismo è una.... mitologia.

Analogamente *Enrico Poincaré*, di cui già vedemmo la critica mossa al meccanicismo (§ 56), opinò che la scienza, pur avendo un valore obbiettivo, si regge sopra una nostra finalità economica e pratica, o insomma sul *convenzionalismo.*

In ogni ricerca scientifica ammettiamo principî, definizioni, concetti, da cui dipende il rigore delle nostre argomentazioni. Ora se questi prodotti del nostro spirito non si possono ritenere assolutamente arbitrarî, valgono però unicamente come *simboli.* Ciò posto, e per quella libertà creatrice che la nostra mente in questo

---

1. Anche il Maxwel adottò una teoria simile. La validità di un pensiero, egli notava, consiste nella sua utilità pratica, in quanto serve specialmente a promuovere la ricerca. Non importa s'è erroneo. Un errore vivo, disse l'Hamilton, giova praticamente più di una verità morta. Il Maxwel osservò che per es. l'ipotesi dell'azione a distanza, benchè erronea, ebbe il merito di promuovere gli studi relativi alle proprietà del mezzo che s'interpone tra due corpi. Così non mancò di dar buoni frutti la concezione d'innumerevoli cose particolari, omogenee e invariabili, cioè la *teoria atomica.*

Digitized by Google

modo rivela, nulla ci può impedire di accettare, accanto alla geometria euclidea, quella non-euclidea (§ 14). Infatti, il Poincaré osservò che i postulati della geometria non essendo dati dall'esperienza, la scelta che si può fare tra più postulati, in astratto possibili egualmente, trae orgine dalla semplicità e comodità che essi presentano in relazione ai fenomeni fisici a cui vengono applicati.

Alla pretesa prova sperimentale della geometria euclidea, Poincaré oppose che l'esperienza non ci fa conoscere fuorchè i rapporti dei corpi fra loro, non quelli dei corpi con lo spazio, o i rapporti mutui delle diverse parti dello spazio. Noi per rappresentare i rapporti che chiamiamo esperienze, costruiamo con la nostra mente dei segni o *simboli;* e poichè questi sono convenzionali, possiamo costruire un numero infinito di sistemi i quali, essendo convenzionali, riusciranno anche equivalenti, ossia traducibili, come le lingue, l'uno nell'altro. Noi scegliamo quindi la geometria euclidea non perchè sia più vera, ma perchè è la più comoda fra quelle innumerevoli che potremmo adottare: insomma, per pura convenzione. Osserva tuttavia il Poincaré che questa non è gratuita, conservando un intrinseco carattere di necessità. Certo i due concetti « convenzione » e « necessità » non si accordano fra loro facilmente. Ma se conveniamo di tradurre in simboli i « rapporti » dei fatti, perchè questi danno alla scienza un carattere oggettivo, il nostro convenzionalismo, o la comodità, acquistano il medesimo carattere.[1]

§ 58. – La scienza e l'idealismo assoluto. Il soggettivismo degrada in certo qual modo le scienze, elevando in loro confronto la filosofia. Ciò apparisce dalle due dottrine che ora accenniamo.

Benedetto Croce, secondando il movimento empirico-criticista sopra notato (§ 57), formula intorno alla scienza una teoria

1. Per il Poincaré la questione se le affermazioni dei geometri siano vere o false, non significa nulla: basta vedere se esse corrispondono al fine della comodità. Chiedere se una geometria sia più o meno vera di un'altra, equivale a chiedere se il sistema metrico sia vero e siano false le misure antiche: esso è più comodo perchè più semplice: ecco tutto. — L'Enriques, nel discutere il « nominalismo » del Poincaré, osserva che non si può dissentire da lui quando osserva che i rapporti geometrici *puri* sono un'astrazione cui non risponde nulla di reale, e che i concetti geometrici elementari (punto, retta, ecc.) sono parimente un'astrazione che non trova esatto riscontro in alcun oggetto. Essi servono dunque come *simboli* ad esprimere certi rapporti di posizione dei corpi, che vengono enunciati mediante le proposizioni della geometria. Da ciò tuttavia non deriva che queste proposizioni siano un puro *sistema di convenzioni;* non basta cioè a conferire loro una convenzionale arbitrarietà rispetto al mondo fisico il fatto che siano espresse mediante rapporti fra concetti i quali nella loro concezione matematica si ritengono come simboli. Questi infatti trovano una rispondenza approssimativa in certi oggetti, che sono quindi da essi in tal modo rappresentati (Non era però da ciò del tutto discorde il pensiero del Poincaré stesso).

Digitized by Google

che si accosta a quella *economica* già riferita. Vera scienza e per lui quella che ha per fondamento il *concetto puro*, vale a dire il concetto dell'universale, che, pur non avendo per contenuto alcun elemento particolare, non è un concetto vuoto ma esprime nella sua spirituale concretezza tutti i particolari a cui si riferisce. Soltanto per esso si costruisce propriamente la scienza.

Le scienze empiriche, naturali, si fondano invece su *pseudo-concetti*, cioè non rappresentano gli oggetti reali, ma servono esclusivamente a *classificarli*. Sono finzioni mentali, o schemi empirici, non indici di vere conoscenze, perché, mancando dell'universalità, non rappresentano veramente il reale. Analogamente i concetti della matematica, essendo *astratti*, ossia vuoti, non servono a rappresentare gli oggetti concreti, ma solo a *numerarli*.

È innegabile che le nostre cognizioni del reale rendono possibile la previsione; ma questa, praticamente utilissima, non è altrettanto *vera*, nel pieno significato filosofico della parola, perchè mentre attribuisce alla scienza una virtù profetica che essa non ha, postula nella natura l'uniformità, ch'è smentita continuamente dalle sue variazioni. Neppure la matematica si può dire *vera*, sebbene tanto giovi a economizzare il lavoro mentale.

In conclusione ciò che dà valore alla scienza, in confronto con la filosofia, e che ne giustifica la perennità, è la sua funzione economica.

Giovanni Gentile, risolvendo tutta la realtà nell'*attualità* assolutamente concreta dello spirito, pone pure il vero sapere nella filosofia che questa attualità riguarda e contiene. Lo sforzo della scienza empirica, materialistica, di rappresentare la realtà, è sterile, perchè la ricerca là dove non è, cioè fuori dello spirito, o del soggetto individuale. Nè miglior fortuna ha la scienza matematica, la quale, essendo una logica astrattamente analitica, divide ciò ch'è unito, svuota ciò ch'è concreto, uccide ciò ch'è vivo.

Una scienza, in quanto particolare, non può essere che astrazione. Essa accresce indubbiamente il dominio dell'uomo sulla natura; ma che è questo dominio, per il quale l'uomo afferma la propria libertà, se non un fatto essenzialmente interiore, spirituale? — Le scienze non perdono per ciò il loro valore. « Alle scienze come atteggiamenti dello spirito la nostra filosofia crede soltanto dare un avvertimento, che è conforme al loro stesso interesse, ammonendole che quella realtà a cui esse guardano non è tutta la realtà, e perciò è astratta. La concretezza, che è del tutto, è nel pensiero stesso con cui guardano alla loro realtà. Chè solo guardando a questo centro in cui è il principio della vita, da cui

Digitized by Google

ogni realtà germoglia, si può vedere l'astratto come tale e non chiedere ad esso ciò che non può dare: la vita dello spirito, che è libertà, e gioia. »

§ 59. – Osservazioni critiche. Non potendo trattare il problema del valore fondamentale della scienza con quell'ampiezza che la sua importanza richiederebbe, ci limitiamo a poche osservazioni critiche, le quali potranno suggerirne altre.

Il principio dell'economia nella rappresentazione scientifica della realtà è un'applicazione di quello della semplicità, che sappiamo quanto sia stato fecondo nel progresso delle scienze (§ 46); ma questo lavoro abbreviato del pensiero non è, per sè medesimo, un suo modo arbitrario.

Possiamo distinguere, in un fatto qualsiasi, due aspetti: *bruto* e *scientifico*. Il secondo si differenzia dal primo in quanto n'è una elaborazione logica, risultando da varie operazioni mentali, come l'analisi, la comparazione, l'astrazione, la sintesi. I nostri concetti generali circa la realtà, i principî che le applichiamo, le leggi a cui la subordiniamo, nascono così; ma perchè dovremmo ritenere questi prodotti della mente come sue espressioni capricciose? Vi concorre indubbiamente la volontà, ma, nell'atmosfera della scienza, essa è soggetta alla stessa realtà che devesi interpretare: in altre parole, i concetti, i principî, le leggi ci sono imposti dall'esperienza o, più precisamente, dall'osservazione scrupolosa dei suoi dati e dalla riflessione. L'esperienza diventa pertanto un *imperativo logico*, ed è arbitrio non l' obbedire ma il sottrarsi ad esso. L'errore è possibile, ma si può anche riconoscerlo e correggerlo, ristabilendo così fra il nostro pensiero e la realtà un rapporto di adeguatezza ideale o logica, che è quanto dire di verità.

Per questo rapporto la scienza acquista un valore impersonale, obbiettivo, e non è dunque una convenzione. Le *convenzioni* possono sostituirsi l'una all'altra indifferentemente, come avviene nei giuochi dei fanciulli; forse la scienza è un giuoco col quale ci prendiamo diletto della natura?

Evidentemente l'idea della cosa non è la cosa: un arancio pensato non è l'arancio reale. Fra i due termini, *idea* e *cosa*, il divario è poi tanto maggiore quanto più l'idea è astratta o generale.

Ciò si conforma al principio che un'idea è una nostra costruzione. Per es. noi costruiamo l'idea di *tipo*, confrontando fra loro

Digitized by Google

più cose congeneri e riconoscendone l'analogia; l'idea di *legge*, confrontando fra loro più fatti e rilevandone la somiglianza fondamentale o caratteristica. Però questa analogia o somiglianza non è punto un dato soggettivo; e il nostro pensiero, riconoscendola, acquista del pari un valore oggettivo.

Tale è il valore d'ogni concetto in quanto il suo contenuto è positivo, cioè fornito, imposto dalla realtà. Se i concetti scientifici fossero pseudo-concetti, questo valore verrebbe a mancare, cioè non sarebbero scientifici. Se sono tali, sono anche necessariamente concetti veri. Il valore oggettivo è proprio anche dei concetti universali, ma solo se vengono, per così dire, nutriti dall'asperienza concreta, ossia dai concetti particolari della scienza. Senza questi essi sarebbero infatti vuoti e insignificanti, cioè puri nomi.

Obbiettivo è dunque anche il valore di una legge scientifica, per es. quella di Mariotte, che i volumi dei gaz sono nel rapporto inverso della pressione che sostengono. Essa è la « formula unica di un rapporto di variazioni ». Queste possono avvenire tra due serie, delle quali una venga assunta come causa, l'altra come effetto (come per la legge citata); oppure le variazioni possono essere collaterali, e poste in relazione al variare di un dato termine. Ne sono esempio le due leggi della caduta dei gravi di Galileo, e dei movimenti planetari di Keplero, effetti della gravitazione universale di Newton. In ogni caso il nostro pensiero trascrive, per esprimerci così, in se stesso, mediante la legge, determinate variazioni ritmiche della realtà; onde la legge, pur essendo una concezione soggettiva, diventa la formula d'una necessità estrinseca.

Vero è che possiamo ingannarci e ammettere nelle cose una necessità insussistente, come accadde per es. quando si attribuì alla natura l'orrore del vuoto; ma non diremo che sia fittizia la contraria necessità espressa dalla legge di Torricelli.[1]

---

1. Sappiamo che, se non direttamente, un'ipotesi può essere verificata in virtù delle conseguenze che ne derivano. Così per es. la legge d'inerzia. Essa afferma che, nell'assenza di ogni causa esterna, un corpo in movimento deve continuare a muoversi indefinitamente in linea retta; ma noi non possiamo ottenere alcun movimento rettilineo continuo. I movimenti originati dal peso sulla superficie del globo sono in linea retta, ma s'arrestano; i movimenti degli astri nel cielo sono continui, ma non avvengono in linea retta. Non potendo dunque la legge d'inerzia, ottenuta ipoteticamente, verificarsi in maniera diretta, la si accetta tuttavia perchè le sue conseguenze logiche concordano con i fatti reali, e questi non si ritengono spiegabili altrimenti che per essa.

Oltrechè come principio di spiegazione di un dato ordine di fatti, l'ipotesi vale anche ad avviare nella ricerca. Funge, così considerata, da *idea direttiva*, e può essere suggerita direttamente dall'osservazione, o anche, se così può dirsi, da quell'istinto della verità che Bacone brillantemente chiamava *subodoratio quaedam venatica*.

L'ipotesi può essere così una divinazione geniale, ossia opera del ragionamento, poi controllata dall'esperienza. Citiamo il caso di Galileo il quale, col semplice ragio-

Digitized by Google

Poichè una dottrina è perfettibile, si può ritenere *ipotetica;* ma questa parola non deve intendersi nel senso che manchi all'ipotesi un fondamento oggettivo. Infatti la verificazione a cui l'assoggettiamo può convertirla in legge, e se fosse respinta, potrebbe essere sostituita da un'altra, la quale pure potrà acquistare, per le ragioni che la suggeriscono, un certo valore oggettivo. [1]

È pure evidente che se tutte le considerazioni esposte comprovano l'obbiettivo valore della scienza, questa non si può considerare come *simbolica.* Usiamo bensì di simboli, ma li riconosciamo come tali, e quindi in certo qual modo li superiamo, penetrandone la significazione più intima, razionale e positiva.

Infine il valore obbiettivo dei concetti scientifici appare anche dall'uso pratico che ne facciamo. In vero, se essi ci valgono ad agire vantaggiosamente sulla realtà, ciò è possibile soltanto per il loro nesso con essa. « Se le navi solcano i mari e i velivoli il cielo, se le macchine forano i monti e portano lontano la parola, se con mille ingegni diversi l'uomo piega le forze della natura e debella le malattie, è proprio in virtù di codesti schemi generali (o idee economiche) che sono soggettivi perchè non esistono che in noi, ma sono oggettivi perchè ci dànno i rapporti costanti e universali della realtà » *(C. Ranzoli).*

Rappresentano bensì un *lavoro abbreviato* del pensiero, sul quale hanno quindi una funzione economica, ma sono anche *ritmi mentali* che ritraggono i ritmi cioè i processi della natura.

---

namento, eliminava la supposizione erronea che i corpi cadessero con una velocità proporzionale alla massa. Egli dunque immaginò due masse simili che cadano l'una presso l'altra: acquisteranno una velocità uguale. Uniamo, egli disse, le due masse: l'una non potrà accrescere la velocità dell'altra, epperò la massa unica, somma delle due, si muoverà ancora con la velocità medesima. L'esperimento confermava questa conseguenza logica (§ 32).

1. *Emilio Boutroux* (1845-1921) negò che alle scienze si possa applicare il concetto di *legge naturale.* Questa sarebbe per contro un'astrazione del nostro spirito, alla cui libertà creatrice dobbiamo tutta la scienza, con le sue categorie, ipotesi, definizioni. Il primo tipo della legge si ha nella *forma* della logica, poi in quella matematica, e in seguito in tutte le altre scienze; ma più queste diventano complesse, più la realtà sfugge allo schema mentale della legge vera e propria. Inoltre le scienze ci dànno una rappresentazione sintetica del reale, ma questo per ciascuna scienza è còlto secondo uno speciale punto di vista, irriducibile propriamente a quelli delle altre scienze. È dunque un arbitrio pretendere di spiegare tutto ponendosi da un punto di vista unico, e con una determinata serie causale. Insomma, nella visione scientifica della realtà non si hanno che punti di vista unilaterali e puramente approssimativi. — Enrico Bergson segue questo stesso « contingentismo », e in più ammette che la realtà non possa essere *conosciuta* dalla scienza, ma soltanto *vissuta* nello slancio vitale della nostra anima, mediante l'atto dell'*intuizione pura.*

Digitized by Google

Digitized by Google

INDICI

Digitized by Google

Digitized by Google

INDICE DEI NOMI.

I numeri indicano i paragrafi.

Abelardo 10.
Accadi 15.
Agostino (S.) 35, 47.
Agrippa 34-*B*.
Alberto Magno 31, 35.
Alberti Leon Battista 45.
Alcuino 10.
Alvarez 38.
Amerigo Vespucci 38.
Ampère 45.
Amundsen 42.
Anassagora 46, 47.
Anassimandro 16, 27, 34-*A*.
Anassimene 16, 27.
Andrea 42.
Anonimo 34-*B*
Antifonte 5.
Antigono 34-*A*.
Antonino 34-*B*.
Apollonio 6, 21.
Arabi 4, 10, 31, 37.
Archimede 6, 13, 27, 35.
Archita 5, 34.
Aristarco 18.
Aristotele 19, 27, 34-*A*, 35, 47.
Arnaud de Villeneuve 31.
Aulo Gellio 34-*B*.
Avenarius 57.
Avicenna 31.
Avogadro 33-B.

Babilonesi 1, 3, 15, 45.
Bacone da Verulamio 53.
Bacone Ruggero 29, 30, 31, 38.
Barth 42.
Basilio Valentino 31.
Battelli 33-*B*
Becquerel 33-*B*.
Beda 10, 45.
Bergson 59.
Bernouilli 33-*A*.
Bodin 41.
Boezio 9, 10.
Boilaï 14.
Borelli 42.
Boyle 32, 33-*A*-*B*.
Boutroux 59.
Bradwardin 11.
Bruno 22, 49.
Bunsen 26.
Burton Speke 42.

Caboto 38.
Cagni 42.
Campanella 50.
Cannizzaro 33-*B*.
Cantino 39.
Cappella Marziano 10.
Carnot 56.
Cartesio 5, 12, 25, 32, 54.
Cassini 41.
Cassiodoro 10.
Catone 9.
Cavalieri 13.
Cavendish 33-*B*.
Cecchi 42.
Celsius 33.
Cesare 34-*B*.
Champallion 2.
Cicerone 21.
Clausius 56.
Clüver 41.
Colombo 38.
Columella 9.
Conti 36.
Cook 34-*A*.
Copernico 22, 24, 49.
Corte Real 38.
Coulomb 33-*A*.
Cratete 34-*A*.
Cretesi 4.
Croce 58.
Ctesibio 27.
Curie 33-*B*.
Cusano 12, 47.

Dal Pozzo Toscanelli 38.
Dalton 33-*B*.
Dante 35.
Darwin 43.
De Caneris 39.
Della Francesca (Pier) 45
De Hojeda 38.
Democrito 28, 33-*B*, 46.
Diaz 37.
Dicearco 34-*B*.
Diofanto 4, 7, 21.
Dioscoride 27.
Du Fay 33-*A*.

Ebrei 4.
Egiziani 1, 2, 15, 31, 45.
Empedocle 27.
Enrico il Navigatore 37.
Enrico il Rosso 35.
Enriques 14, 57.

Eone 27, 29.
Epicuro 28.
Eraclide 17.
Eraclito 27.
Eratostene 7, 18, 20, 34-*B*
Erodoto 45.
Erone 7, 20, 33-*A*.
Etruschi 4, 9.
Euclide 5, 6, 29, 45.
Eudemo 45.
Eudosso 5, 13, 17.
Eulero 14, 33-*A*.
Evans 33-*A*.

Fahrenheit 33.
Faraday 45, 55.
Ferchault de Réamur 33.
Fenici 4, 34-*A*.
Fermat 13.
Fibonaci 11.
Filolao 17.
Filone 27.
Flavio Gioia 30.
Franklin 33-*A*, 46.

Galileo 13, 24, 25, 32, 41, 46, 50, 52, 59.
Galle 26.
Galvani 33-*A*.
Gauss 14.
Geber 39.
Gentile 58.
Gerberto 10.
Gessi 42.
Gilbert 33-*A*.
Giovanni da Marignola 36
Giovanni da Montecorvino 36.
Grant 42.
Gray 33-*A*.
Grimaldi 32.
Guericke (Ottone di) 32.
Guglielmini 33-*A*.
Gurdon 33-*A*.

Halley 33-*A*.
Haksbee 33-*A*.
Harwey 32.
Haüy 33-*A*.
Herder 41, 43.
Herschel 25.
Hertz 57.
Hornemann 42.
Humboldt 43.
Huyghens 32, 41.

Digitized by Google

Kant 25.
Keplero 13, 22, 23, 24, 25.
Khowarizmi 4.
Kichhorf 26.
Kiepert 43.
Kleist 33-*A*.

Indiani 4.
Ipazia 21.
Ipparco 7, 18, 21, 34-*A*.
Ippocrate 5.
Isidoro 10.

Juan de Cosa 38.

Lagrange 14, 33.
Laplace 16, 25, 33-*A*.
Lavoisier 33-*A*, *B*.
Leibniz 13.
Leichhardt 42.
Leonardo 12, 32, 33-*A*, 39, 45, 47.
Leucippo 28.
Leverrier 26.
Livingstone 42.
Lobacefsky 14.
Lodge 55.
Lucrezio 28.
Lullo 31.
Lutero 22.
Lyell 43.

Mach 57.
Macrobio Teodosio 34.
Magellano 38.
Mamûm 35.
Marconi 33-*A*.
Marino di Tiro 34-*A*, 38.
Marinelli 43.
Mariotte 32.
Märten Strömen 33-*A*.
Marziano Capella 34-*A*.
Maurolico 32.
Mayer 56.
Maxwel 46, 55, 57.
Malantone 22.
Menelao 21.
Mercatore 38, 39.
Messedaglia 42.
Meunier 33-*A*.
Miani 42.
Mongolfier 33-*A*.
Montesquieu 41.
Mungo Park 42.
Münster 39.
Musschenbroeck 33-*A*.

Nepero 13.
Newton 13, 25, 32, 41, 46, 52.
Nicomaco 7.
Nicomede 7.
Nobile 42.
Nochtigal 42.
Nordenskjöld 42.

Odorico di Pordenone 36.
Oresma 11.
Ortelio 39.
Otswald 58.

Pacioli 12.
Palladio Rutilio 9.
Pappo 7.
Parmenide 27, 34-*A*.
Pascal 12, 13.
Peary 42.
Persiani 15.
Peschel 43.
Peutinger 34-*B*.
Piano da Carpino 36.
Pigafetta 38.
Pitagora 5, 17, 27, 34, 46.
Pitea 34, *A*.
Plinio 3, 27, 30.
Plutarco 16, 34-*A*.
Poincaré 56, 57.
Polibio 3, 29, 34.
Polo 34-*B*, 36.
Pomponio Mela 34-*B*.
Posidonio 34-*A*.
Priestley 33-*B*.
Proclo 45.
Prodico 47.

Ratzel 43.
Regiomontano 12.
Rhazes 31.
Riccobaldi 37.
Ripley 31.
Ritter 41, 43.
Roiti 33-*B*.
Romani 9, 30, 34-*B*.
Rubruck 36.

Sallustio 34-*B*.
Savorgnan di Brazzà 42.
Schenetzer 41.
Schiaparelli 26.
Schweinfurth 42.
Scott 42.
Secchi 26.
Seleuco 18, 34-*A*.
Semiti 15.
Seneca 34-*B*, 38.
Senofane 27.
Socrate 47, 51.
Stahl 33-*B*.
Stanley 42.
Stephenson 33-*A*.
Strabone 34-*A*, 39, 45.
Stuart Mill (G.) 46.
Sumiri 15.

Tacito 34-*B*.
Talete 5, 16, 27, 45.
Telesio 48.
Teofrasto 27.
Teone 5, 8, 21.
Thomson 55.
Tolomeo 3, 18, 21, 22, 29, 34-*A*, 38, 39, 45.
Tomaso (S.) 21.
Torricelli 13, 32, 41.
Tycho Brahe 23.

Varrone 9.
Vasco Munez de Balboa 38.
Vico 41.
Viète 12.
Virgilio 9.
Vivaldi 37.
Vogel 42.
Volta 33-*A*.

Wallis 13.
Waldseemüller 38.

Digitized by Google

INDICE DEI CAPITOLI

Capitolo I. – I PRIMI ALBORI DELLA SCIENZA . . . . . *pag.* 7

§ 1. L'Oriente e la Grecia. — § 2. Gli Egiziani. — § 3. I Babilonesi. — § 4. Altri popoli: Etruschi, Indiani, Arabi.

Capitolo II. – LA MATEMATICA . . . . . » 11

§ 5. La matematica preeuclidea. — § 6. Il periodo aureo. — § 7. Altri matematici posteriori. — § 8. Il periodo della decadenza. — § 9. I Romani. — § 10. L'enciclopedismo. — § 11. La matematica nei secoli XIII e XIV. — § 12. La Rinascenza. — § 13. Galileo, Newton, Leibniz, Nepero. — § 14. L'ultimo periodo della matematica.

Capitolo III. – L'ASTRONOMIA . . . . . » 22

§ 15. L'astronomia dei popoli dell'Oriente classico. — § 16. L'astronomia primitiva dei Greci. — § 17. Pitagora, Filolao, Eudosso, Eraclide. — § 18. Aristarco, Ipparco. — § 19. Aristotele. — § 20. La Geodesia.

Capitolo IV. – TOLOMEO, COPERNICO, KEPLERO, GALILEO, NEWTON . » 28

§ 21. Tolomeo. — § 22. Copernico. — § 23. Keplero. — § 24. Galileo. — § 25. Newton. — § 26. L'astronomia dopo Newton.

Capitolo V. – FISICA E CHIMICA . . . . . » 40

§ 27. I primordi della scienza della natura presso i Greci. — § 28. L'atomismo. — § 29. L'ottica. — § 30. I Romani. Il medio evo. — § 31. L'Alchimia. — § 32. La Rinascenza. — § 33. Nell'età moderna, dal secolo XVIII: *A*) Fisica. *B*) Chimica.

Capitolo VI. – LA GEOGRAFIA . . . . . » 54

§ 34 *A-B.* La geografia dei Greci e dei Romani. — § 35. Nell'epoca della decadenza. — § 36. La conoscenza dell'Asia nel medio evo. — § 37. La via marittima alle Indie. — § 38. La scoperta dell'America. — § 39. La geografia nel Rinascimento. — § 40. La esplorazione dei mari australi. — § 41. La geografia nei secoli XVII e XVIII. — § 42. Le esplorazioni geografiche nel secolo XIX e nel principio del XX. — § 43. La moderna geografia.

Digitized by Google

Capitolo VII. – Osservazioni circa il progresso della scienza . *pag.* 73

§ 44. Principî generali. — § 45. Lo stimolo del bisogno pratico. — § 46. La semplicità.

Capitolo VIII. – Il Naturalismo . . . . . » 78

§ 47. Il medio evo. — § 48. Telesio. — § 49. Giordano Bruno. — § 50. Tomaso Campanella.

Capitolo IX. – Il nuovo metodo. . . . . » 86

§ 51. Gli strumenti della conoscenza. — § 52. Newton e Galileo. — § 53. Bacone di Verulamio. — § 54. Cartesio.

Capitolo X. – Questioni di critica della scienza . . . . . » 93

§ 55. La rappresentazione meccanica della realtà. — § 56. Obiezioni al Meccanicismo. — § 57. Il principio dell'economia. — § 58. La scienza e l'idealismo assoluto. — § 59. Osservazioni critiche.

Inv. 28558

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

CARLO SIGNORELLI – EDITORE – MILANO

:: GALILEO GALILEI ::

I Dialoghi sui Massimi Sistemi

PAGINE SCELTE

con introduzione e commento a cura di **GIULIO DOLCI** . Lire **6.—**

Prezzo del presente Volume: Lire QUATTRO

Digitized by Google